

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MICROGENERACIÓN EÓLICA CON  
INTEGRACIÓN A LA RED ELÉCTRICA EN EL EDIFICIO DE LA CARRERA DE  
ELECTRICIDAD EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a la obtención del título de grado de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico

**AUTOR:**

Cristian Anderson Melo Paillacho

**DIRECTOR:**

MSc. Eliana Carolina Ormeño Mejía

**ASESORES:**

PhD. Gerardo Isaías Collaguazo Galeano

MSc. Jhonny Javier Barzola Iza

Ibarra-2019



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**  
**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN**  
**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art.144 de la Ley de Educación superior hago la entrega del presente trabajo a la un Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	0401836101		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Melo Paillacho Cristian Anderson		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ibarra, barrio la Primavera		
<b>EMAIL:</b>	camelop@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	2-510-128	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0995486597

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MICROGENERACIÓN EÓLICA CON INTEGRACIÓN A LA RED ELÉCTRICA EN EL EDIFICIO DE LA CARRERA DE ELECTRICIDAD EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
<b>AUTOR (ES):</b>	Melo Paillacho Cristian Anderson
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	02/01/2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero En Mantenimiento Eléctrico
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Ing. Eliana Carolina Ormeño Mejía , Msc

## 2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 02 días del mes de enero del 2020

### EL AUTOR:



Nombre: Cristian Anderson Melo Paillacho.  
Cédula: 0401836101



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN A FAVOR DE LA  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Cristian Anderson Melo Paillacho, con cédula de identidad No. 040183610-1, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la ley de propiedad intelectual del Ecuador, artículo 4,5 y 6 en calidad de autor del trabajo de grado denominado: **"IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MICROGENERACIÓN EÓLICA CON INTEGRACIÓN A LA RED ELÉCTRICA EN EL EDIFICIO DE LA CARRERA DE ELECTRICIDAD EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE"**. Que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos morales de la obra antes mencionada, aclarando que el trabajo aquí descrito es de mi autoría y que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional. 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 Técnica del Norte.

Firma

Nombre: Cristian Anderson Melo Paillacho

Cédula: 040183610-1

Ibarra, Enero del 2020.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR**

**MSc. Eliana Ormeño**

**CERTIFICA**

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por el señor estudiante; Melo Paillacho Cristian Anderson certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: **"IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MICROGENERACIÓN EÓLICA CON INTEGRACIÓN A LA RED ELÉCTRICA EN EL EDIFICIO DE LA CARRERA DE ELECTRICIDAD EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE"**. Para la obtención de título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico; aprobado la defensa, impresión y empastado.

.....  
**MSc. Eliana Ormeño**  
**DIRECTOR DE TESIS**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**DEDICATORIA**

El presente proyecto de tesis lo dedico en primer lugar a DIOS por darme paciencia, fuerza y sobre todo sabiduría, para poder llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional, permitiéndome culminar con éxito una nueva etapa en mi vida.

A mis padres y hermanos, por ser el pilar fundamental de apoyo incondicional, no tan solo económico, sino también moral, brindándome sus consejos, oraciones y buenos deseos los mismos que me ayudaron a ser una persona con buenos valores y de bien.

A mí amado hijo Cristopher que ha sido mi gran motivación para nunca darme por vencido y llegar a ser un padre ejemplar para él.

A mis familiares y amigos que de una u otra forma han compartido conmigo vivencias y conocimientos a lo largo de este proceso académico.

**Cristian Anderson Melo**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**AGRADECIMIENTO**

Le agradezco a Dios por brindarme la vida, por acompañarme en todo el proceso de mi vida universitaria, por darme unos excelentes padres, quienes me han inculcado buenos valores, su apoyo, su ejemplo. Por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación.

Agradezco a la Universidad Técnica del Norte por haberme acogido y permitirme formarme en mi vida profesional, a sus docentes que compartieron sus conocimientos a lo largo de todo el proceso universitario.

Unos muy amenos agradecimientos a mi tutora y asesores quienes me ayudaron a culminar con éxito este proyecto de tesis, por el tiempo y la buena voluntad que invirtieron en las etapas del desarrollo del mismo.

# ÍNDICE

<b>1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA</b> .....	ii
<b>DEDICATORIA</b> .....	vi
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	vii
<b>ÍNDICE</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	x
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xi
<b>RESUMEN</b> .....	11
<b>ABSTRACT</b> .....	12
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>A.1 ANTECEDENTES</b> .....	13
<b>A2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	13
<b>A3. - PROBLEMA</b> .....	14
<b>A4. - JUSTIFICACIÓN</b> .....	14
<b>A5. - ALCANCE DEL TRABAJO</b> .....	14
<b>A6. - VIABILIDAD DEL TRABAJO</b> .....	14
<b>A7. - OBJETIVO GENERAL</b> .....	15
<b>A8. - OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	15
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	16
<b>1 FUNDAMENTO TEÓRICO</b> .....	16
1.1. Sistema.....	16
1.1.1. Funciones de los sistemas.....	16
1.2. Sistema Eléctrico de Distribución. ....	16
1.3. Energía .....	17
1.4. Energía Eólica .....	19
1.4.1 Origen del Viento .....	19
1.4.2 Efecto Coriolis .....	19
1.4.3 Tipos de viento.....	20
1.5. Usos de la energía eólica.....	21
1.5.1. Ventajas y desventajas de la energía del viento.....	21
1.6. Micro generación Eólica.....	22

1.7.	Red Eléctrica.....	23
1.8.	Situación eléctrica actual del Ecuador. ....	24
1.9.	Descripción del recurso eólico en el Ecuador .....	26
1.10.	Sistema de generación eólico. ....	27
1.11.	Sistema eólico conectado a la red .....	34
<b>CÁPITULO 2.....</b>		<b>35</b>
<b>ESTIMACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA DE MICRO GENERACIÓN .....</b>		<b>35</b>
2.1.	Introducción.....	35
2.2.	Análisis del Objetivo.....	35
2.3.	Ubicación Física.....	35
2.3.1.	Disposición del espacio físico de implementación. ....	36
2.3.2.	Zona geográfica para la implementación.....	37
2.4.	Desarrollo del Proyecto.....	38
2.4.1.	Estimación de recurso eólico existente en el campus principal de la Universidad Técnica del Norte 38	
2.5.	Cálculos y Dimensionamientos de equipos a instalar.....	41
2.5.1.	Selección del Aerogenerador.....	41
2.5.2.	Cálculo del Inversor con conexión a la red eléctrica.....	44
2.5.3.	Calculo del sistema de acumulación. ....	44
2.5.4.	Selección del Regulador Eólico .....	45
2.5.5.	Dimensionamiento de los conductores. ....	45
2.5.6.	Cálculo de las protecciones en la red de corriente continua.....	48
2.6.	Análisis de Red del Edificio de la carrera de Ingeniería en Electricidad.....	49
2.7.	Diagrama multifilar de la instalación. ....	50
<b>CAPITULO 3.....</b>		<b>51</b>
<b>RESULTADOS.....</b>		<b>51</b>
3.1.	Puesta en marcha del sistema de micro generación eólica.....	51
3.1.1.	Recepción e inspección de los equipos.....	51
3.1.2.	Construcción de la estructura soporte y montaje del micro generador eólico. ....	52
3.1.3.	Instalación del micro generador eólico.....	52
3.1.4.	Tablero de control.....	53
3.1.5.	Instalación de interruptor termo magnético de AC.....	54
3.1.6.	Instalación del regulador de carga eólico. ....	54

3.1.7.	Instalación del sistema de almacenamiento (batería).....	55
3.1.8.	Instalación de Barras DC. ....	56
3.1.9.	Instalación de los inversores.....	56
3.1.10.	Instalación de Tomacorrientes.....	57
3.1.11.	Instalación del Interruptor termo magnético de 10 A 3 polos. ....	58
3.1.12.	Montaje del Tablero de control y generación. ....	58
3.1.13.	Conexión del sistema de generación híbrida con la red eléctrica de distribución. ....	59
3.2.	Presupuesto. ....	60
3.3.	Pruebas de funcionamiento del sistema de micro generación eólico.....	60
3.4.	Micro generador eólico.....	61
3.4.1.	Regulador de carga. ....	61
3.4.2.	Sistema de almacenamiento (batería).....	62
3.4.3.	Inversor .....	63
3.5.	Resultados.....	64
3.5.1.	Gráficas de los datos obtenidos por las mediciones del sistema. ....	64
3.5.2.	Potencia generada. ....	69
<b>CONCLUSIONES</b> .....		70
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		71
Referencia .....		72
<b>ANEXOS</b> .....		76
<b>ANEXO A: PRACTICAS DE LABORATORIO</b> .....		76
<b>ANEXO B: DIAGRAMA MULTIFILAR DEL SISTEMA</b> .....		80

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. REPRESENTACIÓN DEL PATRÓN GLOBAL DE CIRCULACIÓN DE VIENTOS FUENTE: (CORPORACIÓN ELECTRICA DEL ECUADOR, 2019) .....	20
FIGURA 2. INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA DEL ECUADOR 2017.....	24
FIGURA 3. POTENCIA Y NÚMERO DE CENTRALES POR PROVIENCIA Y TIPO DE .....	25
FIGURA 4. ATLAS EÓLICO DEL ECUADOR .....	26
FIGURA 5. ANEMÓMETRO.....	27
FIGURA 6. VELETA.....	28
FIGURA 7. DATA LOGGERS .....	28
FIGURA 8 REGULADOR DE CARGA EÓLICO .....	33
FIGURA 9 INVERSOR ON GRID.....	33
FIGURA 10. SISTEMA EÓLICO INTEGRADO A LA RED .....	34

FIGURA 11. UBICACIÓN DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE MICRO GENERACIÓN EÓLICA .....	36
FIGURA 12. ÁREA DE MONTAJE E INSTALACIÓN DEL MICRO GENERADOR EÓLICO.....	37
FIGURA 13. VELOCIDAD DEL VIENTO TOMADO EN LAS FECHAS 10/03/2019 AL 15/04/2019.....	40
FIGURA 14. DIRECCIÓN DEL VIENTO TOMADO EN LAS FECHAS 10/03/2019 AL 15/04/2019 .....	40
FIGURA 15. CURVA DE POTENCIA DEL AEROGENERADOR.....	42
FIGURA 16. MEDIDAS DE LA ESTRUCTURA DEL AEROGENERADOR EÓLICO .....	43
FIGURA 17. MEDIDAS DE LA ESTRUCTURA DEL AEROGENERADOR EÓLICO .....	43
FIGURA 18. RECEPCIÓN DE LOS EQUIPOS .....	51
FIGURA 19. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA SOPORTE Y MONTAJE DEL MICRO GENERADOR EÓLICO. ....	52
FIGURA 20. INSTALACIÓN DEL MICRO GENERADOR EÓLICO. ....	53
FIGURA 21. TABLERO DEE GENERACIÓN Y CONTROL. ....	53
FIGURA 22. INSTALACIÓN DEL INTERRUPTOR TERMO MAGNÉTICO. ....	54
FIGURA 23. INSTALACIÓN DEL REGULADOR DE CARGA EÓLICO.....	55
FIGURA 24. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO (BATERIA).. ....	55
FIGURA 25. INSTALACIÓN DE LAS BARRAS DC.....	56
FIGURA 26. INSTALACIÓN DE LOS INVERSORES.....	57
FIGURA 27. INSTALACIÓN DE TOMACORRIENTES.....	57
FIGURA 28. INSTALACIÓN DEL INTERRUPTOR TERMO MAGNÉTICO DE 10 (A) 3 POLOS. ....	58
FIGURA 29. MONTAJE DEL TABLERO DE GENERACIÓN Y CONTROL. ....	59
FIGURA 30. CONEXIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDA CON LA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN.....	59
FIGURA 31. MICRO GENERADOR EÓLICO.....	61
FIGURA 32. REGULADOR DE CARGA EÓLICO. ....	62
FIGURA 33. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO (BATERÍA) .....	63
FIGURA 34. FUNCIONAMIENTO DEL INVERSOR .....	64
FIGURA 35. PORCENTAJE DE CARGA DE BATERÍA. ....	65
FIGURA 36. VOLTAJE DE BATERÍA.....	66
FIGURA 37. CORRIENTE DE CARGA DE LA BATERÍA.....	66
FIGURA 38. VOLTAJE DEL MICRO GENERADOR EÓLICO (V). ....	67
FIGURA 39. CORRIENTE MICRO GENERADOR EÓLICO.....	68
FIGURA 40. CORRIENTE DE CONSUMO .....	68
FIGURA 41. POTENCIA GENERADA .....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 TIPO DE ENERGÍAS RENOVABLES Y SU DESCRIPCIÓN.....	18
TABLA 2. GENERADORES DE EJE HORIZONTAL.....	29
TABLA 3 GENERADORES DE EJE VERTICAL .....	31
TABLA 4. EQUIPOS DE MEDICIÓN DE RECURSO EÓLICO .....	38
TABLA 5. CARACTERÍSTICAS DEL AEROGENERADOR.....	42

TABLA 6. CAIDAS DE TENSIÓN EN CONDUCTORES .....	46
TABLA 7. CÁLCULO DE POTENCIA ACTIVA MEDIA DIARIA DE LA CARRERA DE CIELE ...	49
TABLA 8. CÁLCULO DEL VOLTAJES DE LA RED TRIFÁSICA DE LA CARRERA DE CIELE.	49
TABLA 9. CÁLCULO DE CORRIENTES EN LA RED TRIFÁSICA DEL EDIFICIO CIELE. ....	50
TABLA 10. CÁLCULO DE POTENCIA ACTIVA TRIFÁSICA DIARIA DEL EDIFICIO DE CIELE .....	50
TABLA 11. PRESUPUESTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN.....	60
TABLA 12. DATOS MEDIDOS DEL SISTEMA.....	64
TABLA 13. POTENCIA GENERADA POR EL SISTEMA DE MICRO GENERACIÓN EÓLICA.	69

## RESUMEN

El desarrollo del presente proyecto tiene como objetivo el diseño e implementación de un sistema de micro generación eólico a la red eléctrica del edificio de la carrera de Ingeniería en Electricidad. Se realizó la instalación de equipos de medición dentro del campus de la Universidad Técnica del Norte. Los equipos adquiridos son instalados y comprobado su funcionamiento.

El recurso eólico existente en el campus de la universidad es de 2 m/s a 9 m/s, por lo que se decide instalar un micro generador eólico de eje vertical de 250 Wp, el cual sirve para compensar en una proporción la carga total del edificio de CIELE. Este sistema de generación es registrado y complementado por equipos instalados en el tablero de generación que son indispensables para la protección y seguridad del sistema.

El sistema de micro generación eólico está integrado por un micro generador de 250 Wp, que transforma el recurso eólico en energía eléctrica, regulador de carga eólico el cual permite establecer un voltaje de funcionamiento de los equipos, un sistema de almacenamiento o batería que cumple la función de estabilizar el sistema, 3 inversores los cuales permiten integrarse a la red, ya que estos se acoplan a los parámetros de frecuencia y voltaje de la red eléctrica que alimenta el edificio de la carrera de CIELE.

Finalmente se realiza con este sistema de micro generación las pruebas de funcionamiento de los equipos, obteniendo resultados favorables. En conclusión podemos incentivar a la sociedad al uso de energías renovables para la generación de electricidad y con esto ayudar a su economía y a la no contaminación del medio ambiente.

**Palabras claves:** sistema micro generación eólica, regulador de carga, batería, inversores, red eléctrica integración a la red, recurso eólico.

## ABSTRACT

The development of this Project aims to design and implement a micro-generation wind system to the electricity grid of the building of the Electricity Engineering career. The installation of measuring equipment was carried out in the campus of the technical University of the North. The purchased equipment is installed and proven to work.

The existing wind resource on the university campus is 2 m/s to 9 m/s, so it is decided to install a 250 Wp micro generator, which transforms the wind resource into electric power, wind load regulator which allows a voltage of operation of the equipment to be established, a storage system or battery that fulfills the function of stabilizing the system, 3 inverters which allow to integrate into the network, as these are coupled to the frequency and voltage parameters of the electrical grid that powers the CIELE building.

Finally, with this micro generation system the tests of the operation of the equipment are carried out, obtaining favorable results. In conclusion, we can incentivize society to use renewable energy for electricity generation and thereby help its economy and nonpollution of the environment.

**Keywords:** Micro-generation wind system, charge regulator, battery, inverters, electric power grid integration to the grid, wind resource.

## **INTRODUCCIÓN**

### **A.1 ANTECEDENTES**

Hoy en día es imposible imaginar la existencia humana desligada del desarrollo económico creciente. Pensar que en la supervivencia global del planeta y sus habitantes que en la de ficticias necesidades particulares generadas por la sociedad del consumo es algo que apenas nos planteamos. Las energías renovables son una de las columnas que sostiene este planteamiento. (Villalba, 2007)

En América Latina más de 31 millones de personas carecen del servicio de electricidad según reportes de la Agencia Internacional de la Energía (International Energy Agency).

Ninguno de estos ciudadanos está conectado a una red eléctrica. Esa falta de interconexiones, sumada a otros factores como el permanente cambio con tendencia al alza del precio del petróleo, así como el consumo y uso irracional de la energía, más la excesiva contaminación atmosférica que empeora el calentamiento global; son factores que sin duda alguna deben motivar el estudio, la investigación y el desarrollo de otras fuentes de energía o energías renovables. (Castrillón, 2012)

La energía eléctrica en últimos años en el Ecuador ha tenido una notabilidad por motivo de que el gobierno ecuatoriano ha invertido en la generación de electricidad aprovechando fuentes de energía renovables las cuales están presentes en nuestro territorio. La energía Eólica en nuestro país no es muy notable ya que presenta tan solo dos centrales Eólicas una en la Provincia de Loja que es la más grande de nombre Villonaco de 16.5 MW con un abastecimiento del 25% anual de la empresa eléctrica del Sur, y otra en las isla San Cristóbal (Galápagos) de 2.4 MW con la cual cubre el 30% de la demanda energética de las isla San Cristóbal en el Archipiélago de las Galápagos

### **A2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la Universidad Técnica del Norte, en la Carrera de Ingeniería Eléctrica existen laboratorios los cuales sirven para que los estudiantes obtengan nuevos conocimientos, para que apliquen lo aprendido en las aulas de manera teórica, así como para que los estudiantes practiquen la investigación.

Al ser una carrera Eléctrica basada a sectores de generación, mantenimiento, control y automatización.

Dicha carrera presenta carencia de sistemas de generación en energías renovables para ser aplicadas en los laboratorios y aulas.

### **A3. - PROBLEMA**

¿Cómo implementar un sistema de micro generación eólica con la integración a la red eléctrica en el edificio de la carrera de Ingeniería de Electricidad en la Universidad Técnica del Norte?

### **A4. - JUSTIFICACIÓN**

El presente proyecto está enfocado a la implementación de un sistema de micro generación eólica, para la integración a la red en el edificio de la carrera de Ingeniería en Electricidad de la Universidad Técnica del Norte, demostrando la sustentabilidad de dicho proyecto y ayudando con ello a nuestra carrera, ya que servirá para que estudiantes adquieran nuevos conocimientos sobre la nueva tendencia mundial de la generación eléctrica, la cual se basa a energías renovables encontradas en el ambiente donde vivimos, así como también para la realización de prácticas las cuales ayudaran a aumentar el aprendizaje de los estudiantes.

Otra de las razones para la realización de este proyecto es dar a conocer a estudiantes y profesores de la Universidad, que existen tipos de generación eólica basada en la energía cinética del viento, el cual es producido por el calentamiento del sol al suelo, y que esto puede evitar y disminuir que CO<sub>2</sub> se vaya a la atmosfera, además de ser un proyecto amigable con el ambiente.

### **A5. - ALCANCE DEL TRABAJO**

Implementar en la Carrera de Ingeniería en Electricidad un sistema de micro generación eólica para posterior hibridación eólica-solar con integración a la red eléctrica.

### **A6. - VIABILIDAD DEL TRABAJO**

El proyecto con la implementación del sistema de micro generación eólica en la carrera de Ingeniería en Electricidad permitirá a los estudiantes y profesores a disponer de materiales y equipos de alta tecnología en forma física, ya que podrán hacer uso del proyecto para

posteriores prácticas las cuales ayudaran al enriquecimiento del conocimiento y podrán aplicar en campo la parte teórica aprendida en las aulas.

Para este presente proyecto no cuenta con una inversión por parte de ningún tipo de empresa privada, ni pública. Los fondos de inversión para este proyecto serán directamente del estudiante investigador, una vez analizado el presupuesto para conocer si es viable su implementación.

Una vez realizado el presupuesto analizando costos se ha llegado a la conclusión que es viable la implementación desde el punto de vista económico.

Desde el punto de vista social este proyecto será un gran avance para la carrera de ingeniería eléctrica ya que podrá contar con un nuevo sistema de generación de energía renovable como es la eólica, así como también tendrá una importancia ambiental ya que ayudara a la disminución de CO2 a la atmosfera.

Esto podrá ser compartido con estudiante y profesores de la carrera.

#### **A7. - OBJETIVO GENERAL**

Implementar un sistema de micro generación eólica con integración a la red en el edificio de la carrera de Ingeniería en Electricidad en la Universidad Técnica del Norte.

#### **A8. - OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Analizar el estado del arte de las diferentes tecnologías para la generación eólica y sistemas de almacenamiento de energía.
2. Estimar el recurso eólico existente en el Campus Principal de la Universidad Técnica del Norte.
3. Diseñar el sistema de micro generación eólica en una infraestructura híbrida solar-eólica.
4. Diseñar el sistema de almacenamiento de energía proyectado en una infraestructura híbrida eólica-solar.
5. Implementar el sistema de micro generación eólica con integración a la red eléctrica.

# CAPÍTULO 1

## 1 FUNDAMENTO TEÓRICO

### 1.1. Sistema

Un sistema está conformado por un conjunto de objetos y componentes, que interactúan entre sí para el logro de objetivos. De allí que la teoría general de sistemas, no solo estudia la estructura del sistema sino su comportamiento, su funcionamiento y dependiendo esta última de su estructura (ALEGSA, 2018).

#### 1.1.1. Funciones de los sistemas.

Según (Vasquez, 2013) las funciones del sistema se determinan de acuerdo ha:

- a) Producción: transforma las entradas de flujo en salidas esperadas.
- b) Apoyo: provee desde el medio al sistema con los elementos necesarios para su transformación.
- c) Mantenición: se encarga de lograr que las partes del sistema permanezcan dentro del sistema.
- d) Adaptación: lleva a cabo los cambios suficientes para sobrevivir en un medio cambiante.
- e) Dirección: coordina las actividades de los subsistemas y toma decisiones en los momentos necesarios.

### 1.2. Sistema Eléctrico de Distribución.

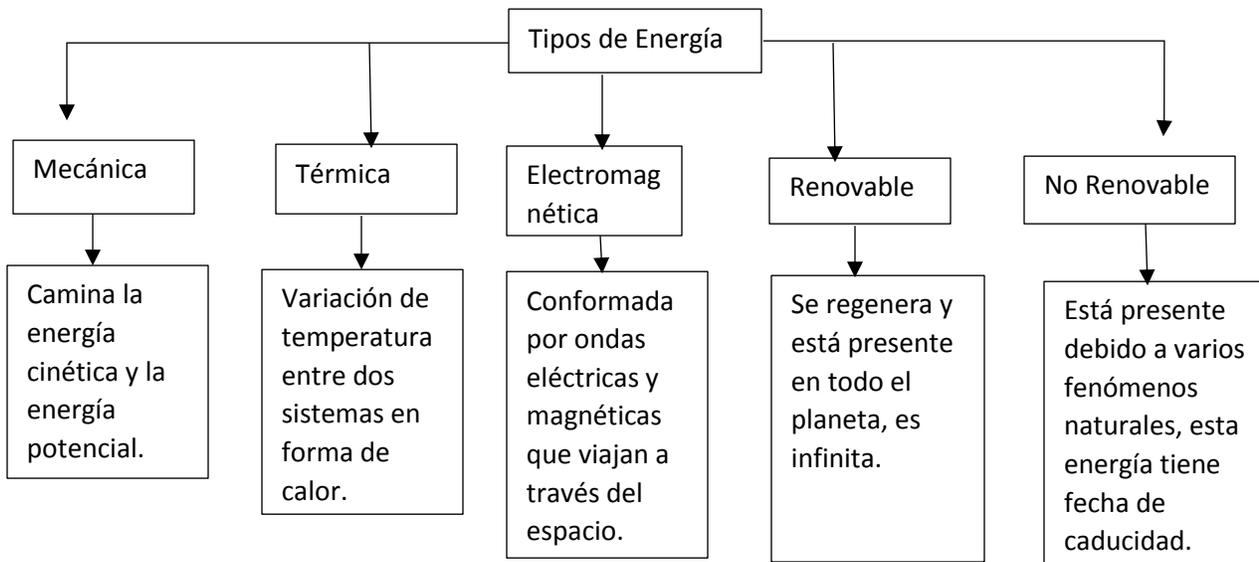
El sistema eléctrico de distribución según (EDP España, 2016) menciona que su principal estructura está formada por:

- Subestación principal de potencia
- Sistema de sub transmisión
- Subestación de Distribución
- Alimentadores primarios

- Transformadores de distribución
- Secundarios y de servicio.

### 1.3. Energía

Es el estado de transformación que tiene un cuerpo o la generación de movimiento que realiza un cuerpo para pasar de un estado normal, a un estado final de transformación. La energía es de gran ayuda para realizar las actividades humanas cotidianas, así como el desarrollo de vida en la tierra, ya que la principal fuente de energía es el sol (Miñarro, 2018).



Fuente: (Helmenstine, 2019), (Elizabeth, 2013), (Mohtasham, 2015)

En lo que continua se hace referencia a las energías renovables, por cuanto es la base del presente proyecto.

Las energías renovables, se caracterizan por ser limpias y libres de combustibles fósiles, además son inagotables y ayudan a la conservación del medio ambiente; ya que no emiten ningún tipo de gas de efecto invernadero que podría causar cambios climáticos en el planeta (Shiva, 2017).

Las principales ventajas de las energías renovables según la (AIE, 2015) son:

- ❖ Imprescindibles contra el cambio climático.

- ❖ Inagotables
- ❖ Reducen la dependencia energética
- ❖ Crecientemente competitivas

El Ecuador cuenta con un gran potencial energético, es por este motivo que el Gobierno promueve el uso energía eléctrica generada por fuentes de energías renovables (ARCONEL, 2016).

Los tipos de energías renovables existentes en el planeta se las puede ver en la Tabla 1.1

**TABLA 1.1 TIPO DE ENERGÍAS RENOVALES Y SU DESCRIPCIÓN**

ENERGÍA	DESCRIPCIÓN
Eólica	La energía eólica es aprovechada por el movimiento cinético del aire, el cual   la energía cinética por medio de aerogeneradores en energía eléctrica.
Solar	El uso de la energía que nos brinda el sol en forma de radiación electromagnética, puede ser energía solar térmica o energía solar fotovoltaica.
Geotérmica	Este tipo de fuente de energía es la que sale del interior de la tierra en forma de volcanes, aguas termales, etc.
Mareomotriz	El movimiento continuo de las mareas y corrientes marinas son capaces de generar energía eléctrica de forma limpia
Biomasa	Es el principal aprovechamiento de residuos de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos que generan las diferentes actividades agrícolas, ganaderas y forestales

Fuente: (Alrikabi, 2014)

## 1.4. Energía Eólica

La energía eólica produce electricidad utilizando la fuerza del viento a través de aerogeneradores. Este tipo de energía no contamina el medio ambiente y disminuye la emisión de gases de efecto invernadero, así como también contribuye a reducir el cambio climático. Es fuente inagotable y reduce el uso de combustibles fósiles para la generación de electricidad (Nauí, 2017).

El viento consta de energía cinética, capaz de ser transformada a electricidad a través de una turbina eólica que canaliza la energía del viento hasta las aspas de la turbina, la cual gira el rotor del generador y por inducción produce energía eléctrica. En la antigüedad el viento era aprovechado para realizar tareas mecánicas y facilitarle al ser humano los trabajos que exigían de gran fuerza, una de las aplicaciones fue moler grano y bombear agua de los pozos (Brown, 2019).

### 1.4.1 Origen del Viento

El principal actor del origen del viento es el sol, ya que calienta la tierra en particular el suelo en forma desigual. Los rayos solares en el Ecuador caen perpendicularmente lo que permite que el calentamiento de la tierra en esta parte del mundo sea mucho mayor, debido a los gradientes horizontales de presión (Calle, 2019).

### 1.4.2 Efecto Coriolis

Este efecto ocurre particularmente por la trayectoria del aire u objetos en movimiento, que se modifica debido a la rotación de la tierra de Oeste a Este como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, así que las masas de aire se mueven aleatoriamente, este efecto determina la dirección del viento mas no su velocidad (Edgar David Guarín, 2016, pág. 75).

En el hemisferio norte se crea una fuerza aparente que provoca que el viento se desvíe hacia la derecha, mientras que en el hemisferio sur el viento se desvía hacia la izquierda. En el Ecuador no existe desviación por estar en la zona cero o ecuatorial (Edgar David Guarín, 2016, pág. 75).

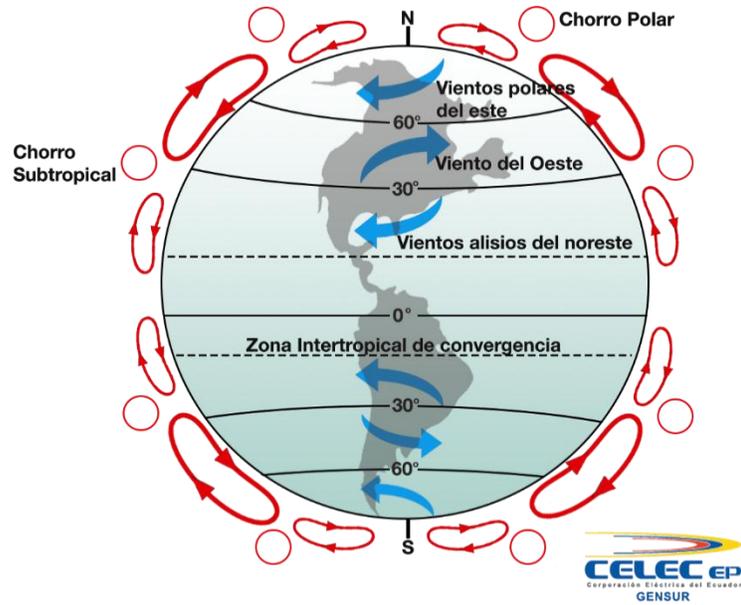


FIGURA 1. REPRESENTACIÓN DEL PATRÓN GLOBAL DE CIRCULACIÓN DE VIENTOS  
Fuente: (Corporación Eléctrica del Ecuador, 2019)

### 1.4.3 Tipos de viento

Los tipos de viento se los ha podido clasificar de acuerdo con la escala Beaufort ( TABLA 1. 1) que es utilizada por los navegantes de las aguas del mar, la cual utiliza la velocidad media en nudos (1 nudo = 1.85 Km/h). Las mediciones son realizadas con anemómetros modernos y se mide el estado del mar mediante una escala de 12 grados. Esta distribución es referencial debido a que depende de las características propias de las aguas (Náutica Formación, 2018).

TABLA 1. 1 ESCALA DE BEAUFORT

Velocidad (nudos)	Fuerza	Denominación
Hasta 1	0	Calma
1 a 3	1	Ventolina
4 a 6	2	Flojito
7 a 10	3	Flojo

11 a 16	4	Moderado
17 a 21	5	Fresquito
22 a 27	6	Fresco
28 a 33	7	Frescachón
34 a 40	8	Temporal
41 a 47	9	Fuerte Temporal
48 a 55	10	Temporal duro
56 a 63	11	Temporal muy duro
más de 64	12	Temporal huracanado

Fuente: (Náutica Formación, 2018)

## 1.5. Usos de la energía eólica

El uso de la energía eólica depende de la cantidad de recurso que se disponga en el lugar de estudio; esto puede ser en tierra o en el mar, ya que existen grandes parques eólicos en tierra, que pueden abastecer de electricidad a ciudades o poblaciones con gran número de habitantes. Así mismo en algunos lugares se lo ha instalado en el mar cerca de las costas ya que allí la energía del viento es más fuerte y estable, a la vez que su impacto visual resulta menor y la desventaja de que su costo de mantenimiento y construcción son considerablemente mayores (Aldariz, 2018).

En otro punto la utilización de la energía eólica también se lo puede hacer en menor escala de forma autónoma o particular, con el manejo de aerogeneradores para viviendas con el fin de abastecer de electricidad a lugares remotos o para disminuir el consumo de la planilla eléctrica (Aldariz, 2018)

### 1.5.1. Ventajas y desventajas de la energía del viento.

Según (LLoyd, 2014) las ventajas que la energía del viento produce son:

- ❖ Su limpieza (no es contaminante)
- ❖ Su abundancia y el hecho de ser renovable
- ❖ Su bajo precio (al no requerir combustión alguna)
- ❖ El posible aprovechamiento para su colocación de las zonas áridas o no cultivables, dada su topografía
- ❖ El ahorro que supone en gasto de combustible en las centrales hidroeléctricas y térmicas
- ❖ Su bajo impacto ambiental
- ❖ Su seguridad y confiabilidad
- ❖ La generación de empleo
- ❖ Sus fines agrícolas o ganaderos
- ❖ El hecho de que no dañe el suelo
- ❖ Su garantía de autonomía por más de 80 horas, sin requerir conexión a redes de suministro

Según (Rodríguez, 2019) presenta algunas desventajas de la energía eólica.

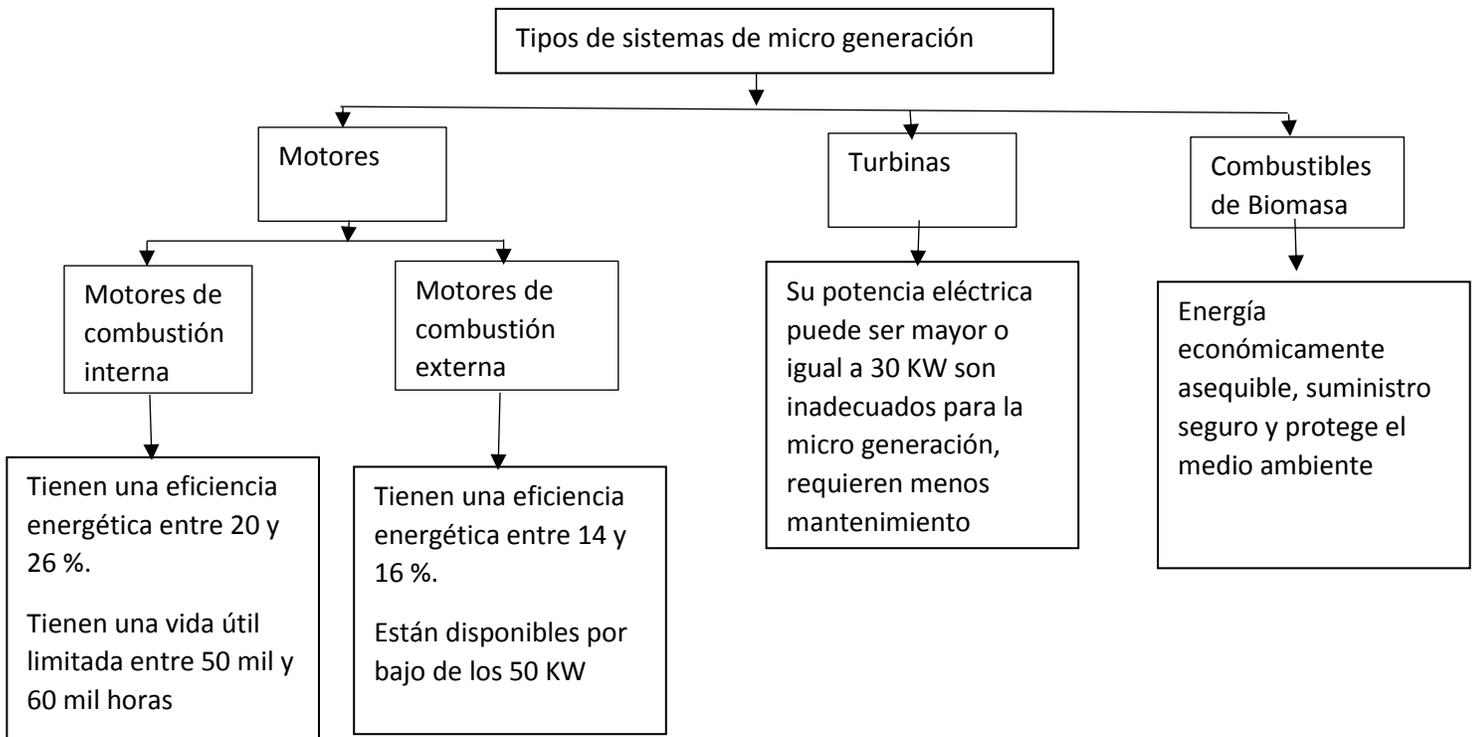
- ❖ Su dependencia de las fuentes tradicionales para poder funcionar
- ❖ Su discontinuidad, pues su intensidad y dirección cambian repentinamente
- ❖ Los daños y apagones que produce la fluctuación en la intensidad
- ❖ Los serios problemas de carácter técnico que se presentan en su producción
- ❖ La necesidad de cables de alta tensión cuatro veces más gruesos que permitan evacuar la producción
- ❖ El aumento del consumo energético que provocan las centrales térmicas de respaldo
- ❖ El hecho de que no sea almacenable.

### **1.6. Micro generación Eólica.**

La micro generación de energías renovables: es la producción de electricidad a pequeña escala utilizando el sol y el viento. La potencia para este tipo de micro generación va desde los 50 W hasta unos pocos KW, se la utiliza para instalaciones residenciales (Aldariz, 2018).

Hay lugares donde la micro generación cumple otro tipo de expectativas, dependiendo de la cantidad de energía renovable en el lugar; este puede dejar de ser un consumidor y puede convertirse en un productor el cual puede ingresar a la red eléctrica y venderle (Aldariz, 2018).

Los tipos de energías renovables más utilizadas son: la eólica y solar, ya que estas energías son más comunes de usarles y encontrarles libremente. Los equipos para aprovechar los recursos renovables solares y eólicos son más frecuentes en el mercado que para otro tipo de energía. (Aldariz, 2018)



Fuente: Autor

### 1.7. Red Eléctrica

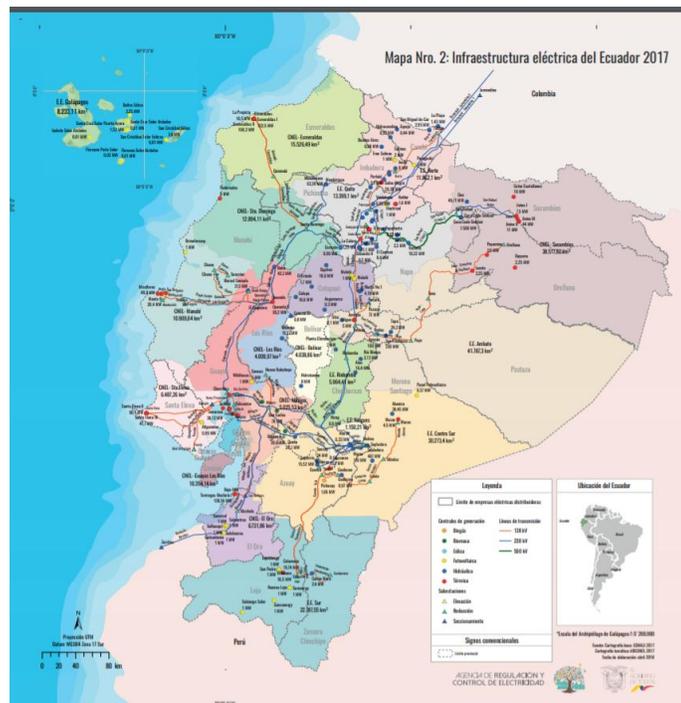
Está conformada por un conjunto de elementos, los cuales están interconectados entre sí para suministrar energía eléctrica, desde las centrales de generación hasta el consumidor. Estos elementos son los que nos permiten a los consumidores gozar de un servicio eléctrico de calidad (Aura Energías, 2018).

Las energías renovables al ser limpias no tienen la obligación de estar muy alejadas de las urbanizaciones, ya que estas no producen emisiones, ni ruidos por lo cual se puede realizar generaciones de energía mediante pequeñas centrales; que van desde la generación directamente al consumo sin líneas de transmisión. Cuanto menos recorrido tenga que hacer la

electricidad menos infraestructuras se necesitaran y su impacto medio ambiental es bajo. (Aura Energias, 2018)

### 1.8. Situación eléctrica actual del Ecuador.

El Balance Nacional de Energía septiembre 2018, nos indica sobre las diferentes fuentes de energías generadoras de electricidad en el Ecuador como se observa en la Figura 2. El primer lugar lo ocupa la energía renovable, la Hidráulica con una potencia de 4756.80 MW la cual ocupa el 57.02% de la generación de electricidad. Luego le sigue la Eólica con el 21.15 MW con el 0.25%, la Fotovoltaica con el 27.63 MW con el 0.33% y seguidamente de las demás fuentes de energías renovables. (ARCONEL, 2018)



**FIGURA 2. INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA DEL ECUADOR 2017.**  
Fuente: (Regulación Eléctrica del Ecuador, 2017)

A nivel nacional al 2016 se estima una potencia nominal de 8226.42 MW y de potencia efectiva 7606.88 MW. Toda esta potencia es producida por los generadores, auto generador y distribuidores (ARCONEL, 2018).

En la siguiente Figura 3 indica la potencia y el número de centrales por provincia.

Provincia	Renovable			No Renovable			Total		
	Número de Centrales	Potencia Nominal (MW)	Potencia Efectiva (MW)	Número de Centrales	Potencia Nominal (MW)	Potencia Efectiva (MW)	Número de Centrales	Potencia Nominal (MW)	Potencia Efectiva (MW)
Azuay	6	1.772,49	1.797,48	1	19,20	17,20	7	1.791,69	1.814,68
Bolívar	1	8,00	8,00	-	-	-	1	8,00	8,00
Cañar	3	62,13	59,93	1	3,63	2,50	4	65,76	62,43
Carchi	3	4,71	4,02	-	-	-	3	4,71	4,02
Chimborazo	4	16,33	15,65	-	-	-	4	16,33	15,65
Cotopaxi	8	30,79	28,88	-	-	-	8	30,79	28,88
El Oro	6	5,99	5,99	2	275,36	249,60	8	281,35	255,59
Esmeraldas	-	-	-	4	244,92	219,22	4	244,92	219,22
Galápagos	9	6,29	6,29	4	22,21	18,57	13	28,50	24,87
Guayas	7	331,48	325,78	12	1.155,76	1.016,30	19	1.487,23	1.342,08
Imbabura	10	78,56	79,71	1	33,25	27,30	11	111,81	107,01
Loja	7	22,49	21,62	1	19,74	17,17	8	42,23	38,79
Los Ríos	2	57,57	56,20	1	95,20	81,00	3	152,77	137,20
Manabí	2	1,50	1,49	4	215,20	189,42	6	216,70	190,91
Morona Santiago	3	88,77	88,31	1	0,24	0,24	4	89,01	88,55
Napo	3	1.516,95	1.492,20	5	67,72	45,50	8	1.584,68	1.537,70
Orellana	1	2,30	2,20	70	585,46	439,85	71	587,76	442,05
Pastaza	-	-	-	3	51,46	43,93	3	51,46	43,93
Pichincha	19	137,37	135,96	7	182,04	153,72	26	319,41	289,68
Santa Elena	-	-	-	2	131,80	110,80	2	131,80	110,80
Sucumbios	-	-	-	76	477,96	367,87	76	477,96	367,87
Tungurahua	6	494,15	470,96	1	5,00	3,60	7	499,15	474,56
Zamora Chinchipe	1	2,40	2,40	-	-	-	1	2,40	2,40
<b>Total</b>	<b>101</b>	<b>4.640,29</b>	<b>4.603,07</b>	<b>196</b>	<b>3.586,14</b>	<b>3.003,80</b>	<b>297</b>	<b>8.226,42</b>	<b>7.606,88</b>

FIGURA 3. POTENCIA Y NÚMERO DE CENTRALES POR PROVIENCIA Y TIPO DE  
Fuente: (ARCONEL, 2016)

Las líneas de transmisión de empresas generadoras y auto generadoras operan a niveles de voltaje de 230 KV, 138 KV, 69 KV, 22.8 KV y 13.8 KV que en base a la función y operación de las mismas, son consideradas como líneas de transmisión. (Ald, 2017)

Las redes de medio voltaje transmiten la energía eléctrica desde las subestaciones a cada uno de los transformadores de distribución. Las empresas distribuidoras del país operan redes primarias monofásicas, bifásicas y trifásicas a niveles de 4.16 KV, 6.3 KV, 13.2 KV, 22 KV, 22.8 KV y 34.5 KV con una longitud registrada de 95816.81 km (ARCONEL, 2016).

El directorio de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad-ARCONEL en los siguientes artículos habla sobre:

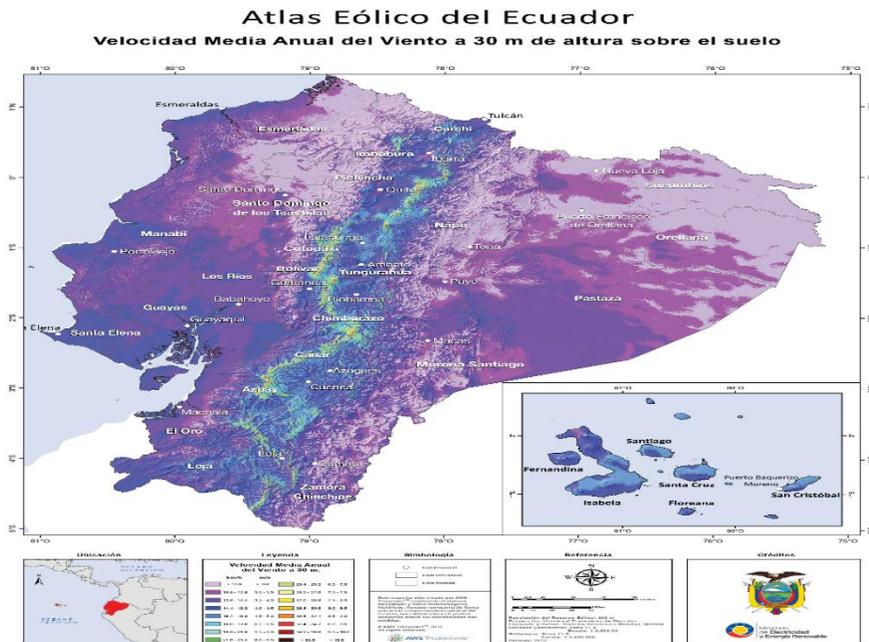
“Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La

soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua".

"Art. 26.- Energías renovables no convencionales. - El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable promoverá el uso de tecnologías limpias y energías alternativas, de conformidad con lo señalado en la Constitución que propone desarrollar un sistema eléctrico sostenible, sustentado en el aprovechamiento de los recursos renovables de energía" (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2018).

### 1.9. Descripción del recurso eólico en el Ecuador

En el mapa eólico del Ecuador (Figura 4) los vientos dominantes sobre el país son los alisios (vientos constantes que soplan del NE en el hemisferio norte y del SE en el hemisferio sur), que provienen del Este cruzando todo el continente, el Ecuador se divide en 4 zonas: La Zona Amazónica donde los vientos tienen disminución de la velocidad por su amplia vegetación. La Sierra en donde la aceleración del viento influye por parte de la cordillera de los andes. La Costa donde actúan las brisas del mar y por último el Archipiélago donde los vientos son menos perturbados que en el resto del continente. El potencial eólico factible a corto plazo es de 884 MW y energía media anual de 1.518 GWh (Calle, 2019).



### 1.10. Sistema de generación eólico.

La generación de electricidad, a partir de la energía eólica está constituido por varios elementos de medición del recurso, así como de diferentes tecnologías las cuales sirven para aprovechar al máximo el recurso existente en el lugar. Los equipos están completamente adaptados y tienen las mismas características para su correcto funcionamiento.

A continuación hablaremos de algunos equipos que forman parte del sistema de generación eólico.

- Anemómetro

Este tipo de equipo (Figura 5) permite realizar la medición del componente horizontal de la velocidad del viento, parámetro importante para determinar el recurso existente en el lugar. Además sirve para determinar el tipo de generador que se utilizara. Los anemómetros más utilizados son los de copa ya que son más robustos y resistentes a turbulencias, este tipo de anemómetro se lo puede calibrar y guardar información en una data loggers (Tecnovex, 2018).



**FIGURA 5. ANEMÓMETRO**

Fuente: (Hunan Rika Electronic Technology Co., Ltd, 2015)

- Veleta

Existen varios tipos de veletas (Figura 6) desde las que tienen forma de gallo hasta las que se utilizan en los aeródromos. Todas estas tienen la misma función, la de direccionar la procedencia del viento. Esta veleta permite dar la dirección mediante los puntos cardinales, la mayoría de veletas están constituida de una punta y de dos paletas, con un pivote vertical, la

punta se pone en dirección de donde proviene el viento donde pueden girar libremente (Baylina, 2018).



**FIGURA 6. VELETA**

Fuente: (Hunan Rika Electronic echnology Co., Ltd, 2015)

- Data loggers

Este equipo (Figura 7) es un registrador de datos electrónico que permite almacenar información de instrumentos y sensores propios o conectados externamente. Están en una utilización diaria con información que debe ser almacenada en la memoria interna del equipo. Por lo general están equipados con un microprocesador, memoria interna para almacenamiento de datos, actualmente tienen un software que se puede tener comunicación con un ordenador (JM Industrial Technology S.A de CV).



**FIGURA 7. DATA LOGGERS**

Fuente: (Hunan Rika Electronic Technology Co., Ltd, 2015)

- Aerogeneradores.

Son máquinas que se utilizan para transformar la energía del viento en energía eléctrica. Existen según su orientación dos tipos de aerogeneradores; de eje horizontal y de eje vertical (Pablo Cobreiro Rodriguez, 2014).

- Aerogeneradores de eje horizontal.

La principal característica de este tipo de máquinas es la rotación en paralelo a la dirección del viento. Son las más utilizadas, desarrolladas e investigadas. Presentan mayor eficiencia de conversión, ya que su velocidad y potencia pueden ser controladas por medio de la rotación de las palas a lo largo de su eje. Se pueden clasificar por número de palas según como muestra la tabla 2 (Calle, 2019).

**TABLA 2. GENERADORES DE EJE HORIZONTAL**

TIPO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	REFERENCIA
<b>Monopala</b>	Necesita mayor fuerza para poderse mover, presenta inconvenientes en el eje, lo que disminuye su vida útil y durabilidad, genera vibraciones, ruidos y desequilibrio aerodinámico.		(ECOVIVE, 2016)
<b>Bipala</b>	Necesita mayor fuerza para girar, no es muy común en el mercado. Presenta alto nivel de vibraciones y de ruidos		(Tully, 2014), (Milborrow, 2011)

<p><b>Tripala</b></p>	<p>Es de mayor comercialización e investigación, cada pala tiene una separación de 120 grados. Utiliza un generador asíncrono, es de gran tamaño.</p>		<p>(Saoirse, 2018), (PAMPA ENERGIA, 2018)</p>
<p><b>Multipala</b></p>	<p>Guarda similitud con los molinos que se usaban para bombear pozos de agua. Se los utiliza en lugares donde no existe mucha fuerza del viento, es de gran envergadura.</p>		<p>(ECOVIVE, 2016), (González R. , 2012)</p>

- Aerogeneradores de eje vertical

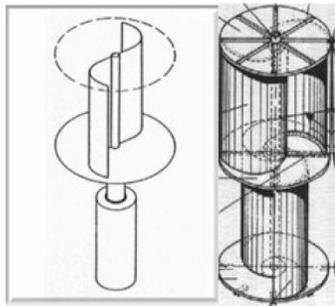
La principal característica de este tipo de aerogeneradores es su eje de rotación. Se encuentra en posición perpendicular al suelo, se adaptan a cualquier dirección del viento y no necesitan mucha fuerza para poder generar electricidad. Así también no necesita sistemas de orientación. Estas máquinas pueden generar un rango desde los 200 W a los 4 MW. Los más comunes se detallan en la tabla 3 (Caita & Molina, 2014).

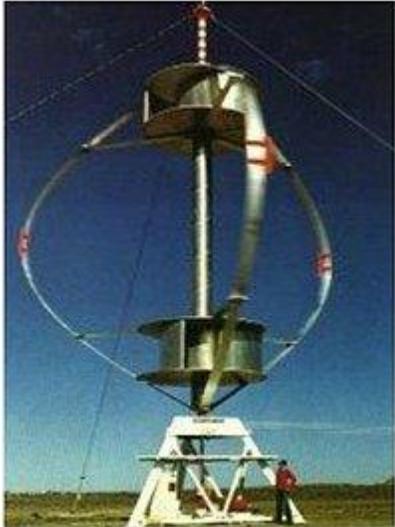
Según (Muerza, 2014) existen algunas ventajas de este tipo de máquinas:

- ❖ No necesitan estar ubicados en grandes alturas ni tener torres como los de eje horizontal. Su instalación y mantenimiento no es muy complicado y se puede utilizar equipos de comercialización muy común, se lo puede ubicar en el suelo o en un tejado o azotea.
- ❖ Aprovechan mejor los vientos irregulares que se generan en la baja altura. Así como las irregularidades del terreno, que incrementan la velocidad o pueden llegar a doblarla.

- ❖ Funcionan de manera silenciosa no provocan ningún tipo de contaminación acústica, se los puede instalar en lugares habitados, a diferencia de los aerogeneradores de eje horizontal que se los debe instalar en lugares alejados. Se ponen en funcionamiento con velocidades muy pequeñas de viento y son más resistentes a vientos fuertes.
- ❖ Su alineación vertical capta el viento desde cualquier dirección por lo cual no necesita sistemas de alineación.
- ❖ La generación de energía eléctrica a partir de aerogeneradores produce un impacto ambiental
  - a) 4 veces menor que con gas natural.
  - b) 10 veces menor que con plantas nucleares.
  - c) 20 veces menor que con carbón o petróleo.
- ❖ Este proceso no genera residuos peligrosos (RESPEL) ni en su producto hay emisión de gases invernadero CO<sub>2</sub>, no crea un impacto de flora y fauna ya que este se lo instala en domicilios y son de baja dimensión.

**TABLA 3 GENERADORES DE EJE VERTICAL**

<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>IMAGEN</b>	<b>REFERENCIA</b>
<b>Savonius</b>	Consta de una parte cóncava y una convexa. La cóncava ayuda al empuje del viento y la convexa ofrece mejor resistencia al giro. No puede girar más rápido que la velocidad del viento.		(Mounia, 2017), (Baldomero, 2014)

<p><b>Darrieus</b></p>	<p>Se conforma de dos o tres palas biconvexas unidas al eje vertical. Necesitan de un rotor Savonius para girar y requieren de tensores para estabilizarse. Se los utiliza para producir bajas potencias.</p>		<p>(Structuralia, 2018), (LBA Industrial, 2019)</p>
<p><b>Giromil</b></p>	<p>Tiene la capacidad de iniciar su marcha desde los 3m/s - 25 m/s. Con esta velocidad es suficiente para producir energía para aparatos de baja potencia. Su costo es muy bajo y sus mantenimientos se los debe hacer con frecuencia.</p>		<p>(LBA Industrial, 2019), (Felix, 2019)</p>

El aerogenerador de eje vertical es claramente mejor para ser instalado en zonas urbanas ya que no presenta vibraciones ni ruidos. Es de fácil fabricación y a precios muy bajos, no necesita de máquinas externas para su funcionamiento.

El aerogenerador de eje vertical se o puede instalar en lugares donde no se tenga mucho recurso eólico ya que puede perder su inercia con velocidades bajas de viento y así mismo aprovechar las horas donde tenga la mayor fuente de energía.

- Regulador Eólico

Este equipo es fundamental para controlar la generación eólica y la carga de la batería para tener un sistema de generación estable (Figura 8). Cuando la batería este a completa carga, este regulador presenta un sistema interno de frenado para ya no pasar la generación y de esta manera se puede proteger el aerogenerador y la batería (Soluciones Energetica S.A, 2014).



**FIGURA 8 REGULADOR DE CARGA EÓLICO**  
Fuente: (Amazon, 2019)

- Inversor On Grid

Este equipo es el encargado de cambiar el voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje de corriente alterna, para ser amigable con los sistemas eléctricos residenciales (Figura 9). Ellos transforman los 12 o 24 V que se tiene a la salida de las baterías a 110 – 220 V (Gable, 2019).



**FIGURA 9 INVERSOR ON GRID**  
Fuente: (SOLAR GRID SERIES INVERTER, 2016)

### 1.11. Sistema eólico conectado a la red

La energía solar fotovoltaica y la energía eólica ha evolucionado y ahora los sistemas de generación ya se los puede integrar a la red (Figura 10). Esto ayuda a la economía de las distribuidoras y a la disponibilidad de carga de plantas de generación de energía renovable. La sincronización de los sistemas de generación a la red se la hace con la conexión de los terminales del interruptor automático y con la salida del inversor. (Phuangpornpitak, 2014)

. Los principales requerimientos para interactuar con la red según (TODO PRODUCTIVIDAD, 2014) son:

- a) La fase y magnitud de la tensión deben ser iguales a lo requerido por la magnitud deseada y dirección del flujo de energía de la red.
- b) Otro de los requerimientos para conexión a la red es la frecuencia; debe ser igual a la de la red o de preferencia un tercio de Hertz más alta.
- c) La secuencia de fas de los dos voltajes trifásicos debe ser la misma.
- d) El ángulo de fas entre los dos voltajes debe estar dentro de los cinco grados.



**FIGURA 10. SISTEMA EÓLICO INTEGRADO A LA RED**  
Fuente: (MppSolar, 2018)

## **CÁPITULO 2**

### **ESTIMACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA DE MICRO GENERACIÓN**

#### **2.1. Introducción**

En la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra en el edificio de la carrera de Electricidad, se realiza la instalación de un sistema de generación eólica con integración a la red eléctrica central de la universidad. Esta investigación se la desarrolla con la finalidad de demostrar que el Ecuador tiene una gran cantidad de recursos renovables, los cuales deben ser aprovechados para diferentes acciones que promuevan al desarrollo sustentable y sostenible de generación eléctrica; la misma que debe ser limpia y con propósito de proteger el medio ambiente.

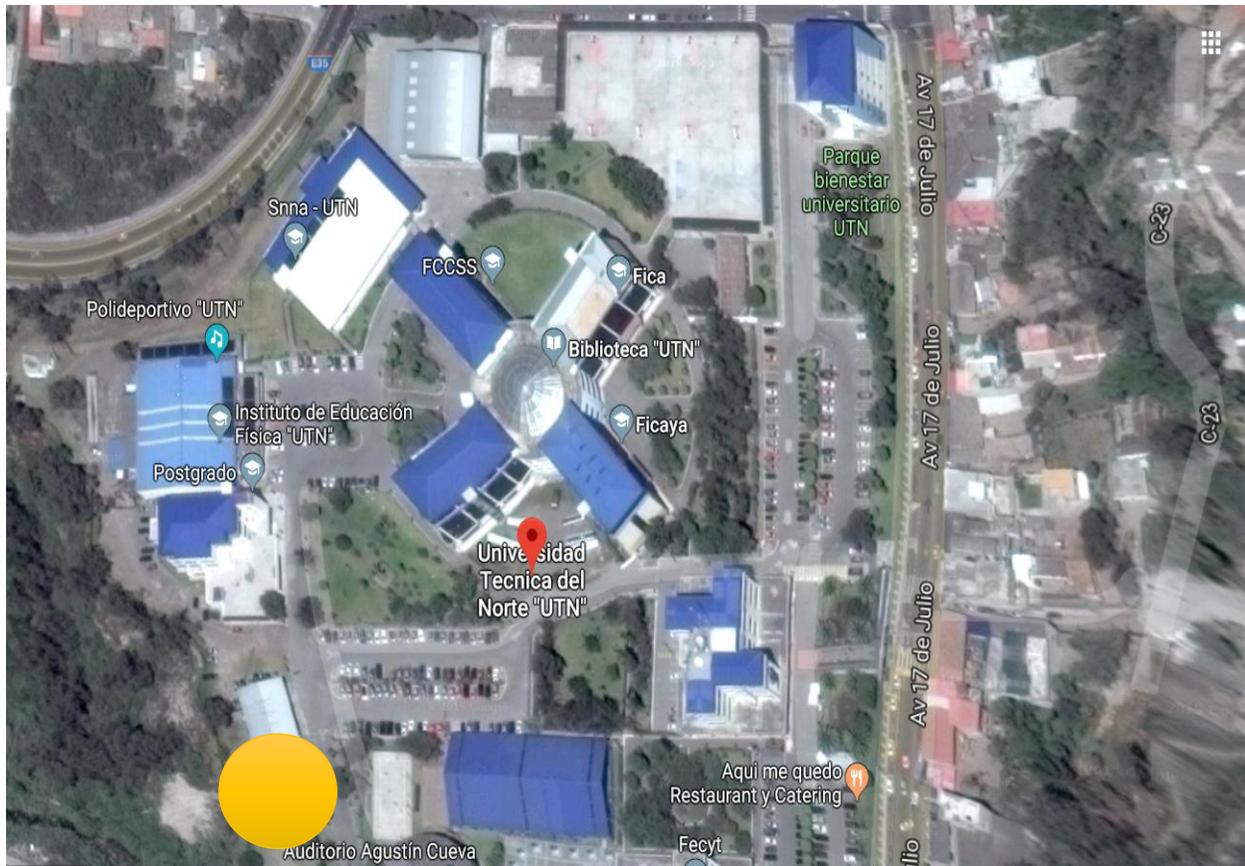
Para la instalación de este sistema se realiza un análisis del recurso eólico presente en el campus de la UTN, el cual nos sirve para poder determinar la capacidad de los equipos a instalar e identificar la potencia que se puede generar con dicho recurso.

#### **2.2. Análisis del Objetivo**

El diseño e implementación de un sistema de micro generación eólica con integración a la red eléctrica en el edificio de la carrera de electricidad en la Universidad Técnica del Norte. Tiene como objetivo demostrar a los docentes y estudiantes la utilización de recursos naturales renovables, para la generación de electricidad y con ello abrir nuevos horizontes para el manejo de otros tipos de fuentes de generación eléctrica mediante energías renovables.

#### **2.3. Ubicación Física**

El lugar de estudio e implementación para este sistema de micro generación eólica tiene origen en la Universidad Técnica del Norte, por ende, su instalación se lo realizará en el edificio de CIELE (Carrera de Ingeniería en Electricidad), los análisis para determinar el recurso renovable se lo realizo a través de equipos de medición eólica como el anemómetro y la veleta que se instalan en el Campus Universitario (Figura 11).

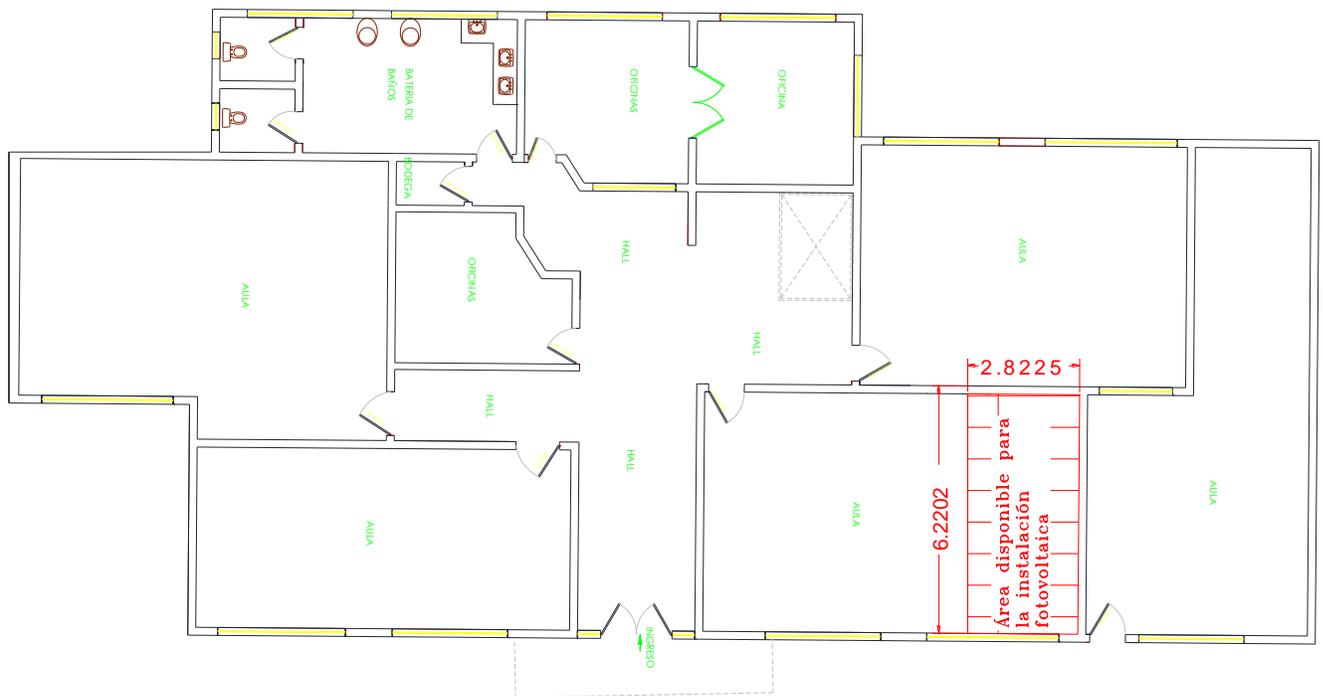


**FIGURA 11. UBICACIÓN DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE MICRO GENERACIÓN EÓLICA**  
Fuente: Autor

### **2.3.1. Disposición del espacio físico de implementación.**

El espacio físico donde se instala el sistema de micro generación eólica en la carrera de Electricidad es de 17.55 m<sup>2</sup>.

En la figura 12 se indica el área de montaje del micro generador.



**FIGURA 12. ÁREA DE MONTAJE E INSTALACIÓN DEL MICRO GENERADOR EÓLICO**  
 Fuente: Departamento de Construcción UTN

El sitio fue escogido debido a su ubicación cercana a las aulas, en donde los estudiantes de CIELE puedan identificar y conocer de un sistema eólico. Otro factor importante es la cercanía a la cuenca del río Tahuando en donde podemos aprovechar los vientos que transitan por ese lugar para tener un mejor beneficio de este recurso.

### **2.3.2. Zona geográfica para la implementación.**

Como iniciativa para nuevos proyectos se ha tomado en cuenta la ciudad de Ibarra capital de la provincia de Imbabura. Donde se encuentra ubicada nuestra prestigiosa universidad la cual está a una altitud de 2220 m.s.n.m. con una temperatura promedio anual de 18 °C. Ibarra está ubicada en un valle, modificado tanto por los vientos que llegan desde los valles y dehesas que son vientos cálidos y secos, como por los vientos que llegan desde los Andes y las partes altas que son vientos frescos y fríos. (EcuRed, 2019)

## 2.4. Desarrollo del Proyecto

Para el desarrollo del proyecto se inicia con la estimación del recurso eólico presente en la Universidad Técnica del Norte. Debido a esta estimación se puede seleccionar los diferentes equipos a utilizar con la finalidad de aprovechar la mayor capacidad de recurso.

El esquemático del sistema de generación eólico con integración a la red se realiza en el software AutoCAD, el cual permitió que los equipos se presenten de una forma ordenada y con espacios adecuados para su instalación.

### 2.4.1. Estimación de recurso eólico existente en el campus principal de la Universidad Técnica del Norte

Para la estimación del recurso eólico en el campus de la Universidad Técnica del Norte, según el objetivo de implementación de un sistema de micro generación eólico con integración a la red eléctrica; se instala los equipos adecuados como son: el anemómetro y la veleta. Los cuales nos permiten determinar la velocidad y dirección del viento dentro del campus y de esta manera establecer el aerogenerador más óptimo para aprovechar el máximo del recurso eólico.

Los equipos de medición del recurso eólico se los instaló en el edificio de Postgrado por su accesibilidad y está cerca de la cuenca del río Tahuando; el cual permite que los vientos sean más fuertes y de esta manera tener una estimación del recurso real. Se procedió a tomar datos desde el mes de septiembre antes de adquirir los equipos en el mes de enero.

- Equipos utilizados para la estimación del recurso eólico

Para la determinación del recurso eólico se utilizaron algunos equipos electrónicos (Tabla 4), los cuales nos ayudan a tener una medición cuantificada, de esta manera poder seleccionar los equipos óptimos de máximo aprovechamiento del recurso renovable para la generación de energía eléctrica.

TABLA 4. EQUIPOS DE MEDICIÓN DE RECURSO EÓLICO

EQUIPO	MODELO	UTILIZACIÓN	FOTOGRAFÍA
Anemómetro	RK100-02	Mide la velocidad del viento, de fibra de carbono, muy ligero y resistente	

Veleta	RK110-02	Determina la dirección del viento, en su interior contiene unos chips magnéticos que están en la carcasa, es muy ligero.	
Data loggers	RK600-02	Equipo de adquisición, almacenamiento, transmisión y administración de datos que provienen de sensores de dirección y velocidad de viento, con pantalla LCD y conexión a un PC.	

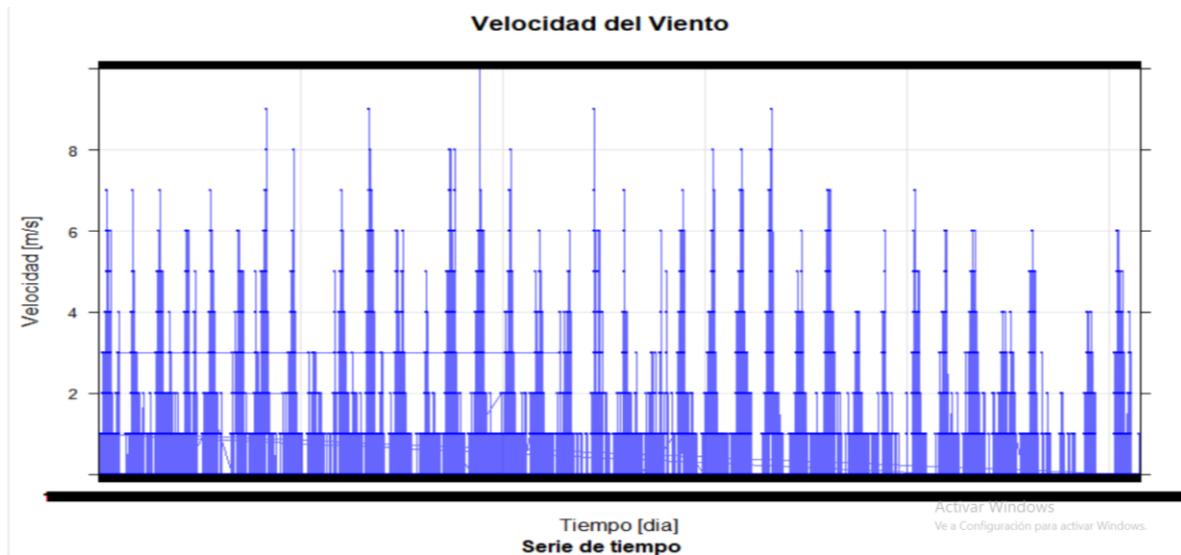
Fuente: (HUNAN RIKA ELECTRONIC TECHNOLOGY Co., Ltd, 2015)

#### - Rstudio

Es un paquete de software que permite el análisis de datos estadísticos, gestión de paquetes y el intercambio de productos de datos, presenta un gran número de desarrolladores que proporcionan librerías (Rstudio, 2019).

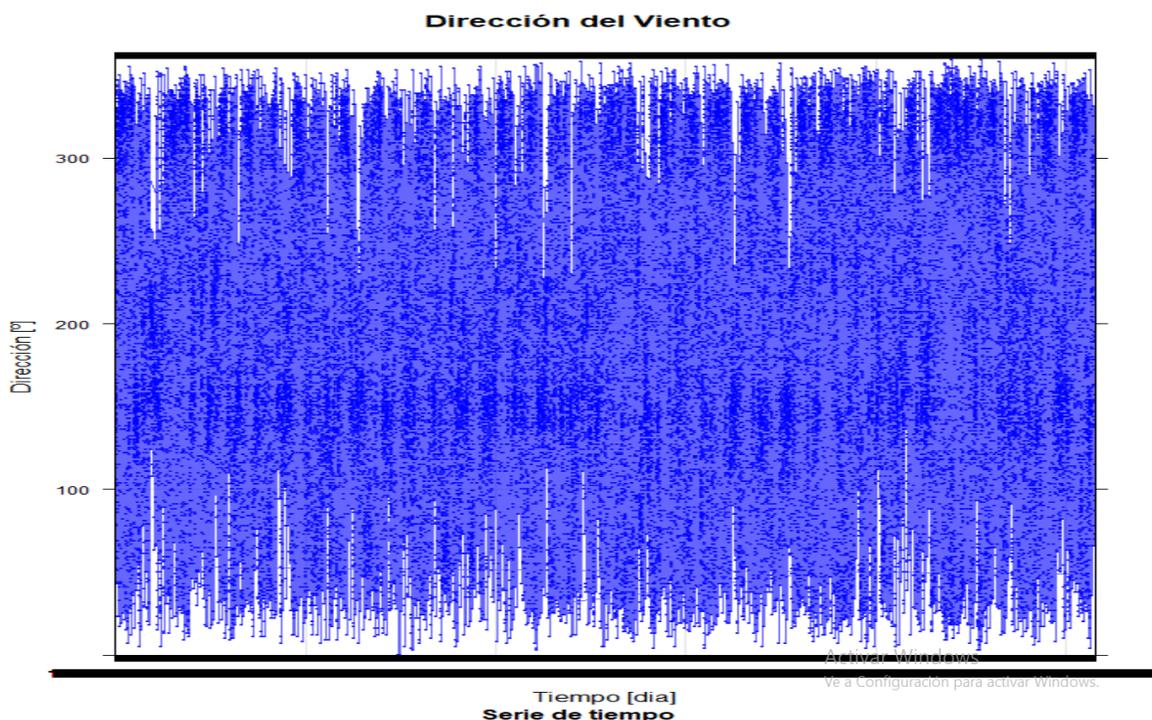
Este software es utilizado para realizar investigaciones las cuales se necesita ingresar datos en bruto, con la ayuda de funciones y ecuaciones de acuerdo al tema tratado se puede obtener resultados estadísticos visuales (Rstudio, 2019). En el caso de la investigación se ingresa las principales ecuaciones para graficar la velocidad del viento (Figura 13) y la dirección del viento (Figura 14), mediante librerías propias del programa.

En la Figura 13 se puede verificar la velocidad del viento de acuerdo a los datos tomados aproximadamente durante un mes el cual indica una variación de entre 2m/s a 9 m/s, este recurso eólico presente en el campus de la UTN debe ser un dato para la adquisición de la turbina eólica.



**FIGURA 13. VELOCIDAD DEL VIENTO TOMADO EN LAS FECHAS 10/03/2019 AL 15/04/2019**  
 Fuente: Autor

En la Figura 14 se muestra una estadística de la dirección del viento, que tiene datos tomados aproximadamente de un mes dentro de la infraestructura de la UTN, el resultado de este análisis arroja datos arbitrarios ya que la dirección del viento es inestable en el campus y tiene que ser un dato importante para la selección del tipo de aerogenerador a instalar.



**FIGURA 14. DIRECCIÓN DEL VIENTO TOMADO EN LAS FECHAS 10/03/2019 AL 15/04/2019**  
 Fuente: Autor

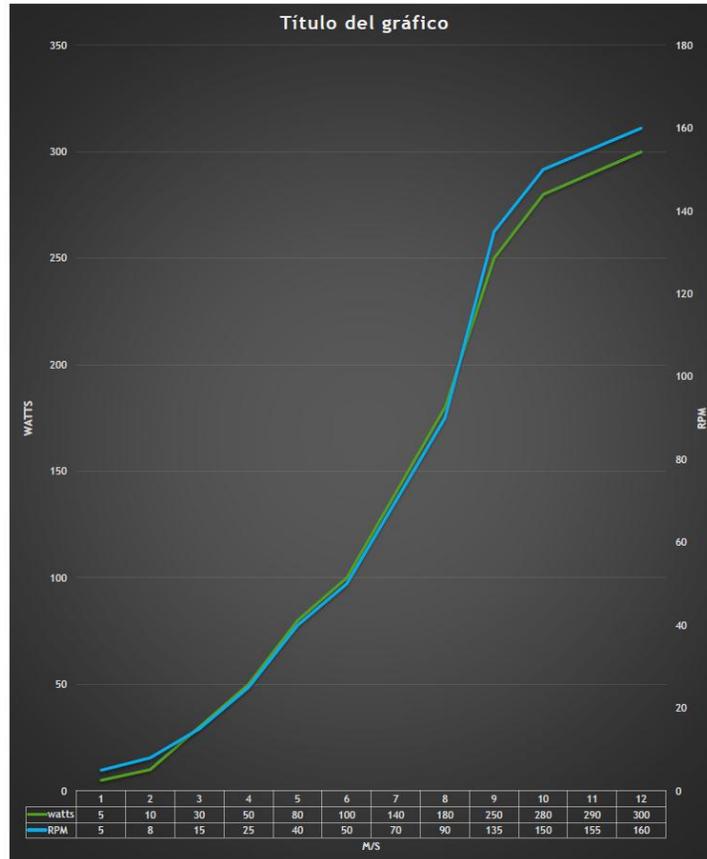
## **2.5. Cálculos y Dimensionamientos de equipos a instalar.**

Para la adquisición de los equipos, se realiza un cálculo y una selección de cada uno de estos. Para así aprovechar al máximo el recurso renovable y poder generar electricidad de manera limpia y segura.

### **2.5.1. Selección del Aerogenerador.**

La implementación del generador eólico de eje vertical que se instala en la infraestructura de la carrera de Ingeniería en Electricidad según el recurso eólico determinado en la Figura 13 por la velocidad del viento donde indica que el recurso eólico en la UTN va desde 2 m/s hasta 9 m/s y que su dirección es oscilante. Motivo por el cual no se la toma como referencia. De tal manera se selecciona un aerogenerador eólico de eje vertical de 250 Wp (Figura 16 y Figura 17) de base octogonal para su mayor fijación, el cual está en el rango de la velocidad del viento acorde al recurso eólico de la universidad la misma que se observa en la curva de potencia Fig. 26, está formado con aspas en su interior y ocho tapas de direccionamiento del viento para aumentar su eficiencia, con altura aproximada de 1,40 m de estructura empotrada en una base de hormigón de 0,70 m y un diámetro de 1 m, en la tabla 2.2 se muestran características mecánicas y eléctricas de este equipo.

Esta potencia activa del generador será instalada a la red Eléctrica de la carrera CIELE la cual cubrirá un porcentaje de la carga total existente en esta infraestructura.

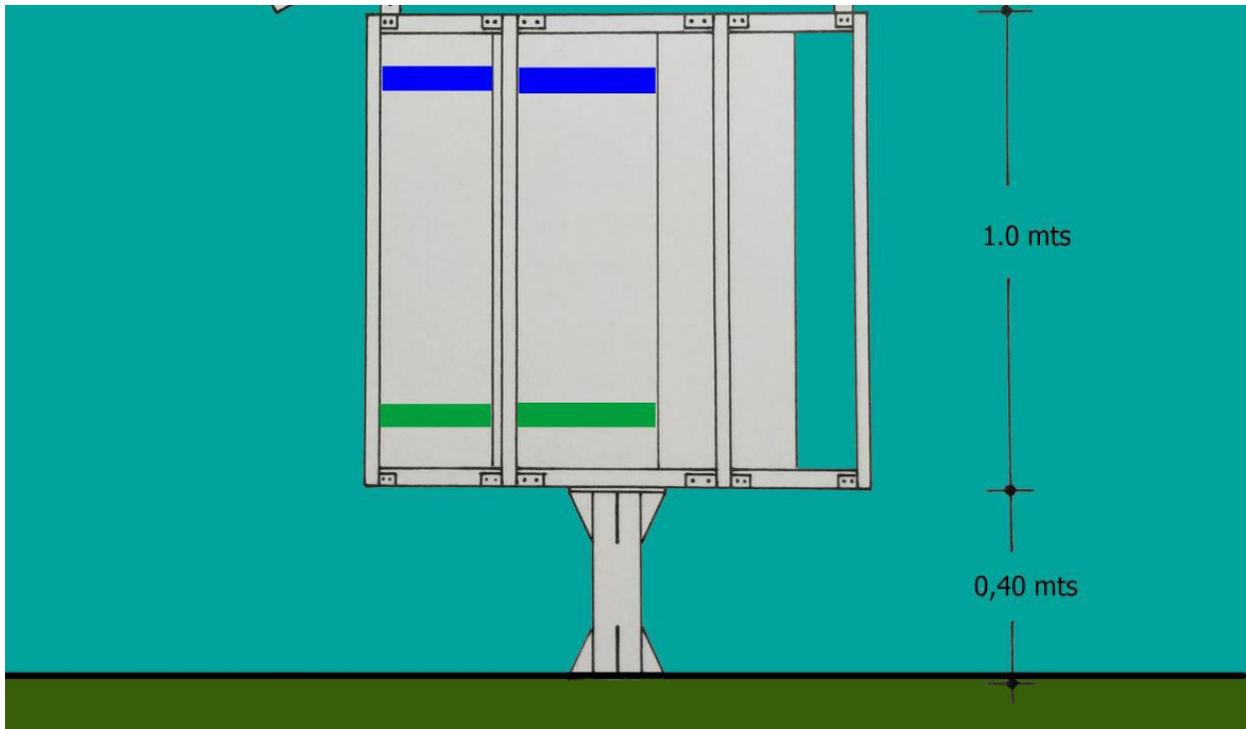


**FIGURA 15. CURVA DE POTENCIA DEL AEROGENERADOR**  
 Fuente: (Thorus, 2019)

**TABLA 5. CARACTERÍSTICAS DEL AEROGENERADOR**

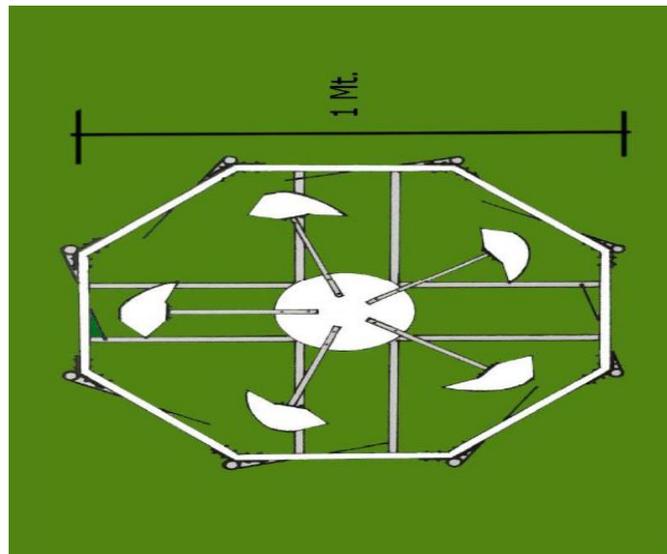
<b>CARACTERÍSTICAS DEL AEROGENERADOR</b>	
Material Estructura	Metal Blando
Material Palas de la Turbina	Aluminio y Fibra
Motor	Generador de imanes permanentes de 24 V de tensión
Viento de Partida	2,0 m/s
Viento Nominal de Generación	9,5 m/s
RPM nominal	180

Fuente: (Thorus, 2019)



**FIGURA 16. MEDIDAS DE LA ESTRUCTURA DEL AEROGENERADOR EÓLICO**

Fuente:(Thorus, 2019)



**FIGURA 17. MEDIDAS DE LA ESTRUCTURA DEL AEROGENERADOR EÓLICO**

(Thorus, 2019)

### 2.5.2. Cálculo del Inversor con conexión a la red eléctrica

El inversor se selecciona de acuerdo a la potencia a instalar y a lo existente en el mercado a nivel mundial ya que con la generación no se pretende cubrir en su totalidad la carga existente. Más bien se trata de cubrir en parte e incentivar a la utilización de alternativas de generación eléctrica.

Para determinar la potencia de los inversores se hace referencia la potencia instalada del sistema híbrido que es 2 paneles solares de 260 W y el micro generador eólico de 250 W, se utiliza la ecuación (2.1).

$$P_{inversor} = 1,25 * P_{GAC} [W] \quad PGAC.- Potencia Generada en Ac \quad (2.1)$$

$$P_{inversor} = 1,25 * 770 = 962 [W]$$

- Selección del Inversor con conexión a la red eléctrica

Se selecciona 3 inversores con las mismas características debido a que en el mercado no existe un solo inversor trifásico de muy baja potencia, por lo cual se adquiere los 3 inversores que se desfasen al momento de conectar a la red para así formar un sistema trifásico.

Características del inversor seleccionado.

- a) Potencia de Salida AC: 250 W nominal; máxima potencia de salida AC 300 W
- b) Rango de voltaje de salida AC: 90 V a 130 V; rango de entrada de voltaje DC: 10,8 V a 30 V
- c) Rango de frecuencia de salida AC 46 Hz a 65 Hz. Tiene una eficiencia del 92 % y un consumo de energía menor de 0.5 W.
- d) Función de MPPT, protección sobre corrientes, sobreprotección de temperatura, protección de polaridad.

### 2.5.3. Calculo del sistema de acumulación.

- Se realiza el cálculo del rendimiento de la batería con la ecuación (2.2)

$$\eta_B = 100\% - k_b \quad (2.2)$$

$$\eta_B = 100\% - 05\% = 95\%$$

- Capacidad de acumulación de la batería  $Q_{Ah}$  se obtuvo mediante la ecuación (2.3)

$$Q_{Ah} = \frac{E_T}{V_{BAT}} [Ah] \quad (2.3)$$

$$Q_{Ah} = \frac{21,76 \text{ KWh}}{12} = 1,813[Ah]$$

La selección de la batería se la realiza con el objetivo de mantener un sistema de generación estable, así como proteger el sistema, este equipo es de modelo génesis 12TD100F4 con las siguientes características.

- a) Rango de capacidad desde 50 hasta 150 Ah
- b) Batería de 12 V
- c) Diseño de terminal frontal para instalación en exteriores.
- d) Voltajes de Carga recomendados en 77 ° F (25 ° C)
- e) Uso del flotador:  $2.275 \pm 0.02V_{pc}$

#### **2.5.4. Selección del Regulador Eólico**

Estos dispositivos son los encargados de controlar constantemente el estado de carga de las baterías y así alargar su vida útil, controla la entrada de corriente proveniente del sistema de generación renovable y evita que se produzcan sobrecargas y sobre descargas profundas en la batería.

Regulador Eólico WT060

El equipo que se adquirió es de modelo Marsrock WT060 con las siguientes características.

- a) Este regulador ayuda a cargar la batería y si la batería ya está cargada este tiene un circuito automático interno de freno.
- b) Proporciona la máxima protección a la turbina de viento y a la batería
- c) Este equipo tiene un IP67 que puede trabajar con distintos tipos d ambientes climáticos
- d) Este puede trabajar con un voltaje nominal de la batería de 12/24 V
- e) La capacidad que soporta del generador eólico es de hasta 600 W

#### **2.5.5. Dimensionamiento de los conductores.**

Se realiza el cálculo del calibre de conductor ya sea en mm<sup>2</sup> o AWG (2.7) de caída de voltaje.

$$\Delta V = R * L * I \quad (2.7)$$

Donde:

$\Delta V$  = Caída de voltaje entre los extremos de los conductores.

$R$  = Resistencia del conductor en [ $\Omega/m$ ].

$L$  = Longitud entre componentes en [ $m$ ].

$I$  = Corriente [ $A$ ].

Se realiza el cálculo del porcentaje de caída de voltaje (2.8)

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V_N} * 100 \quad (2.8)$$

En generación eléctrica se debe tomar en cuenta la circulación de la corriente a través de los conductores, ocasiona una pérdida de potencia transportada por el cable, y una caída de tensión o una diferencia entre las tensiones en el origen y extremo de la canalización, este criterio es determinante para garantizar el funcionamiento de los equipos receptores. (Ministerio de Ciencia y Tecnología).

Los conductores seleccionados se muestran en la Tabla 6.

**TABLA 6. CAIDAS DE TENSIÓN EN CONDUCTORES**

	Distancia [m]	Número conductores	AWG	Resistencia [ $\Omega/m$ ]	Corriente [A]	Voltaje [V]	$\Delta V$ %	Límite permitido
Generador- Interruptor	20	2	6	1,32	15	12	0,01	< 3%
Interruptor- Regulador	1	2	10	1,32	15	12	0,39	< 3%
Regulador- Batería	3	2	10	1,32	15	12	0,05	< 1%

Batería – Barras DC	3	2	6	1,32	64,16	12	0,19	< 1%
Barras DC. Inversor	2	2	10	5,26	7	120	0,006	< 5%

Fuente: Autor

- Cálculo de las secciones de las líneas de corriente DC.

Los conductores que salen desde la micro generación eólica hacia el tablero principal ubicado en el Laboratorio de Maquinas Eléctricas son de tipo SGT-6 SAE J1127 de cobre con aislamiento de PVC resistente a altas temperaturas, ya que hay que proteger el voltaje de la generación para tener un óptimo funcionamiento de los equipos instalados en el tablero principal.

La corriente de salida del micro generador eólico puede variar de acuerdo al recurso eólico existente en el campus de la universidad, como promedio se obtuvo una corriente de 15 A y se instala un cable de calibre 6 AWG, el cual nos ayudara a que si tenemos subidas de corriente no exista un sobrecalentamiento y desgaste en los conductores.

El conductor entre la batería – inversor, se considera la corriente requerida por  $I_{inversor}$  según (2.9).

$$I_{inversor} = \frac{P_{carga\ AC}}{V_{Batería}} \quad (2.9)$$

$$I_{inversor} = \frac{770}{12} = 64,16\ A$$

Por lo cual se utiliza el conductor 6 AWG SGT-6 SAE J1127 de cobre.

- Cálculo de las secciones de las líneas de corriente alterna.

Los conductores de corriente alterna estarán concentrados en el tablero principal instalado en CIELE, donde se encuentran ensamblados los inversores, reguladores, interruptores en DC y AC

La conexión inversor- interruptor termo magnético AC se considera la corriente requerida por la carga según (2.10).

$$I_{carga AC} = \frac{P_{carga AC}}{V_{AC}} \quad (2.10)$$

$$I_{carga AC} = \frac{770}{110} = 7 A$$

Se utiliza el conductor de calibre 10 AWG THHN flexible de alta manipulación resistencia mecánica, para evitar caídas de tensión y por motivo de que va a estar conectado a las Barras AC donde llegan los conductores de la red de la universidad.

### 2.5.6. Cálculo de las protecciones en la red de corriente continúa.

En el tablero principal se instala un interruptor termomagnético de corriente continua el cual es para controlar las sobre intensidades y de esta manera proteger los equipos que están dentro del mismo. Mediante la ecuación (2.11) determinamos la capacidad de corriente con la cual buscamos la mejor opción de acuerdo al mercado local.

$$4a56yd7E8TJI_{max} = I_{sc} * 1,25 \quad (2.11)$$

$$= 9,01 * 1,25 = 11,37 \cong 16 A$$

La protección a utilizar es de 16 A de un polo en DC ya que esta se encuentra en el mercado local y nos ayuda a controlar las sobre corrientes para proteger los equipos como reguladores e inversores y las mismas instalaciones del panel principal.

- Cálculo de protecciones de corriente alterna.

El interruptor de corriente alterna se lo instala en el tablero principal donde se encuentran los equipos. Se lo instala después de la conversión que realizan los inversores de energía en DC-AC. Este interruptor térmico también nos sirve para dividir el sistema de generación renovable con la alimentación principal de la Carrera de CIELE.

Para determinar el interruptor se realiza el cálculo correspondiente según la ecuación (2.12) donde utilizamos como factores la capacidad que tiene la suma de la potencia de la salida de los inversores que es de 900 W y el voltaje al cual se realiza la conexión que es de 127 V. Este

voltaje es el resultado de la medición de una fase con el neutro de la alimentación principal a la cual el sistema de generación se va acoplar.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos\varphi} \quad (2. 12)$$

$$I = \frac{900}{\sqrt{3} \cdot 127 \cdot 1} = 4.09 \cong 10 A$$

Se utiliza un interruptor que se encuentra en el mercado local. Este interruptor es trifásico o tripolar ya que de cada inversor sale una fase la cual se va acoplar a cada una de las fases de la alimentación de la caja térmica de la carrera de CIELE.

## 2.6. Análisis de Red del Edificio de la carrera de Ingeniería en Electricidad.

A la red de la carrera de Ingeniería en Electricidad se le instalo un analizador desde el 29 de julio hasta el 02 de agosto del 2019 en la red trifásica de baja tensión, el propósito de esta instalación es para obtener información de curvas de potencia, tensión, corriente y energía del sistema. El analizador estuvo instalado durante una semana donde los estudiantes y maestros hicieron un consumo notable ya que estaban en una fecha académica saturada, como resultado de esta medición se obtuvo una potencia activa media de 1,30 KW véase en la tabla 7.

**TABLA 7. CÁLCULO DE POTENCIA ACTIVA MEDIA DIARIA DE LA CARRERA DE CIELE**

<b>DIAS / KW</b>	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Media
<b>Potencia Total</b>	1,44	1,5	0,92	1,63	1,05	1,308

Fuente: Autor

Además se recopila información del voltaje de las tres líneas durante la semana de medición donde se obtiene los resultados mostrados en la tabla 8.

**TABLA 8. CÁLCULO DEL VOLTAJES DE LA RED TRIFÁSICA DE LA CARRERA DE CIELE.**

<b>Líneas</b>	<b>V medio L1</b>	<b>V medio L2</b>	<b>V medio L3</b>	<b>MEDIA</b>
<b>(V)</b>				
<b>V total medio</b>	129	127	130	<b>129 [V]</b>

Fuente: Autor

Otro parámetro que el analizador de red nos ayudó a determinar es la corriente de cada una de las fases que están en la caja térmica de la Carrera de Ingeniería en Electricidad.

Mediante este análisis podemos determinar que la fase B tiene un consumo mayor de corriente ya que están desbalanceadas las fases y tenemos mayor carga instalada en esta fase, estos datos se muestran en la tabla 9.

**TABLA 9. CÁLCULO DE CORRIENTES EN LA RED TRIFÁSICA DEL EDIFICIO CIELE.**

<b>(A)</b> \ <b>Líneas</b>	<b>I medio L1</b>	<b>I medio L2</b>	<b>I medio L3</b>	<b>I medio N</b>	<b>MEDIA</b>
<b>I total medio</b>	0,01	17,95	0,15	16,7	<b>8,70 [A]</b>

Fuente: Autor

La potencia activa o útil trifásica que consume la Carrera de Ingeniería Electricidad es de una media de 1,30 KW, según nos muestra la tabla 10.

**TABLA 10. CÁLCULO DE POTENCIA ACTIVA TRIFÁSICA DIARIA DEL EDIFICIO DE CIELE**

<b>(kW)</b> \ <b>DÍAS</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b>MEDIA</b>
<b>P total medio</b>	1,44	1,50	0,92	1,63	1,05	1,30

Fuente: Autor.

## **2.7. Diagrama multifilar de la instalación.**

Después de realizar los estudios pertinentes de la estimación del recurso y de la ubicación, se procede a adquirir los equipos e instalarlos. Se realiza el diseño de instalación con cada uno de los equipos y sus características para la conexión a la red eléctrica como se muestra en la Anexo B. En donde se destaca la conexión de todo el sistema Híbrido comprendido entre los dos paneles y el sistema de micro generación eólico.

## CAPITULO 3

### RESULTADOS

#### 3.1. Puesta en marcha del sistema de micro generación eólica.

Para la implementación del sistema de micro generación eólica se toma en cuenta la confiabilidad, la seguridad y la eficiencia de la instalación. Posteriormente se detalla el procedimiento de instalación de los equipos que conforman el sistema de micro generación eólico.

##### 3.1.1. Recepción e inspección de los equipos.

La adquisición de los equipos provenientes de Chile y Estados Unidos llegan en el mes de marzo del 2019 en donde llegan: 1 micro generador eólico, 3 inversores, 2 analizadores de red, 1 regulador eólico de carga, 1 regulador solar de carga, 1 batería, 2 generadores fotovoltaicos. Se verifica el número de serie, el estado de los equipos, la compatibilidad entre ellos, se realizan pruebas de cada uno de ellos (Figura 18).



**FIGURA 18. RECEPCIÓN DE LOS EQUIPOS**

Fuente: Autor

### 3.1.2. Construcción de la estructura soporte y montaje del micro generador eólico.

Para el montaje del micro generador eólico se construye una base de ladrillo para no afectar los cimientos de la infraestructura del edificio del CIELE. Se verifica que la altura del micro generador eólico, sea la misma de la estructura y montaje de los paneles fotovoltaicos, para que no haya ningún tipo de interferencia (Figura 19).



**FIGURA 19. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA SOPORTE Y MONTAJE DEL MICRO GENERADOR EÓLICO.**  
Fuente: Autor

### 3.1.3. Instalación del micro generador eólico.

Para la instalación del micro generador eólico se verifica las salidas en AC para la conexión de los cables, que conducirán a través de ellos la generación hacia el interruptor de protección, el cual está instalado en el tablero de control. Seguidamente se realiza la instalación al regulador de carga eólico (Figura 20).



**FIGURA 20. INSTALACIÓN DEL MICRO GENERADOR EÓLICO.**  
Fuente: Autor

#### **3.1.4. Tablero de control**

El tablero de control es una caja metálica de 80cmx80cmx30cm de acero inoxidable para evitar la corrosión, dentro de este tablero se instala los interruptores de AC y DC, los reguladores de carga eólico y fotovoltaico, las barras DC, los inversores, y las barras AC. Este tablero está distribuido de forma que cualquier operador lo pueda entender y manipular (Figura 21).



**FIGURA 21. TABLERO DEE GENERACIÓN Y CONTROL.**  
Fuente. Autor

### 3.1.5. Instalación de interruptor termo magnético de AC.

El interruptor termo magnético que se instaló para la protección de cortocircuitos, sobre cargas y de protección para los equipos dentro del tablero es de 1 polo y de 16 A de marca Schneider (Figura 22).



*FIGURA 22. INSTALACIÓN DEL INTERRUPTOR TERMO MAGNÉTICO.  
Fuente: Autor*

### 3.1.6. Instalación del regulador de carga eólico.

Una vez que se ha instalado las protecciones se procede a instalar los equipos, entre ellos el regulador de carga eólico. El cual se lo ubica en un lugar de manera distribuida dentro del tablero de control, con la precaución de tener espacio para maniobrar y dar mantenimiento en cualquier momento que lo amerite. De este regulador sale el positivo y el negativo los cuales sirven para cargar el sistema de almacenamiento (batería) (Figura 23).



**FIGURA 23. INSTALACIÓN DEL REGULADOR DE CARGA EÓLICO.**  
Fuente: Autor

### **3.1.7. Instalación del sistema de almacenamiento (batería).**

La instalación del sistema de almacenamiento se lo realiza bajo el tablero de control por estética, facilidad de instalación y por ahorro de conductor. Los cables que alimentan la batería llegan desde los reguladores de carga tanto solar como eólica y los conductores de salida van a una barra DC donde están conectados los inversores (Figura 24).



**FIGURA 24. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO (BATERIA)..**  
Fuente: Autor

### 3.1.8. Instalación de Barras DC.

Estas barras son de CU aproximadamente de ½ pulgada de grosor por ½ pulgada de ancho, lo que soporta una corriente de 125 A. Estas barras son las encargadas de recibir la energía que llega de la batería y distribuirla para el funcionamiento de los inversores. Estas barras son de color rojo la positiva y de color blanco la negativa (Figura 25).

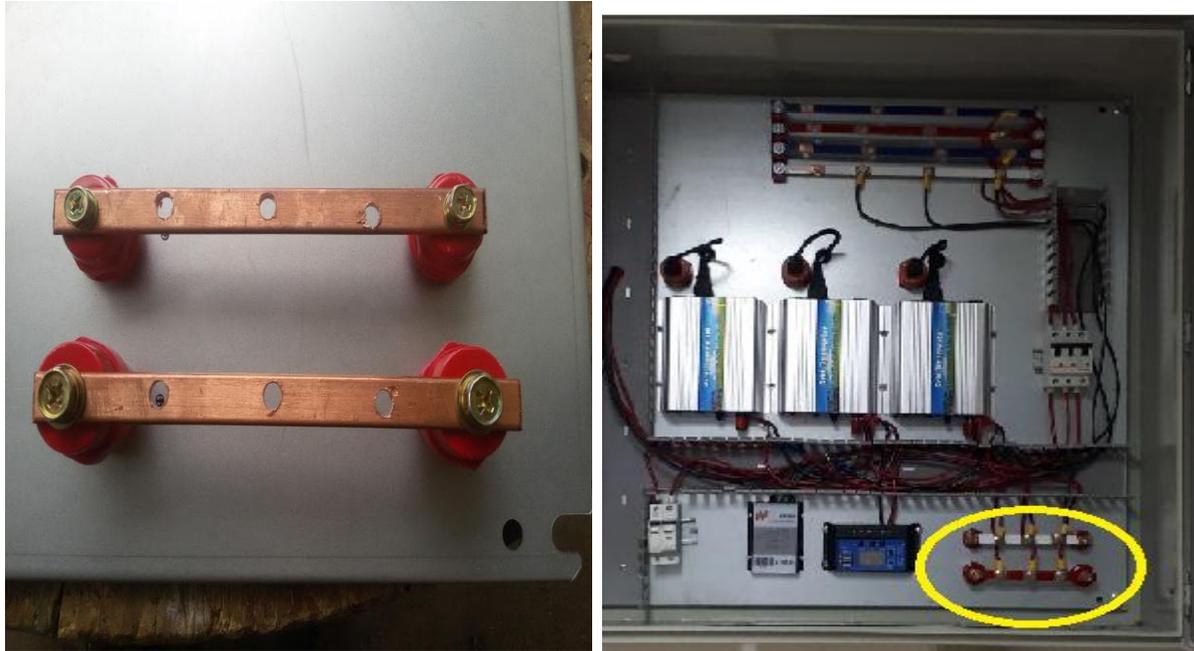
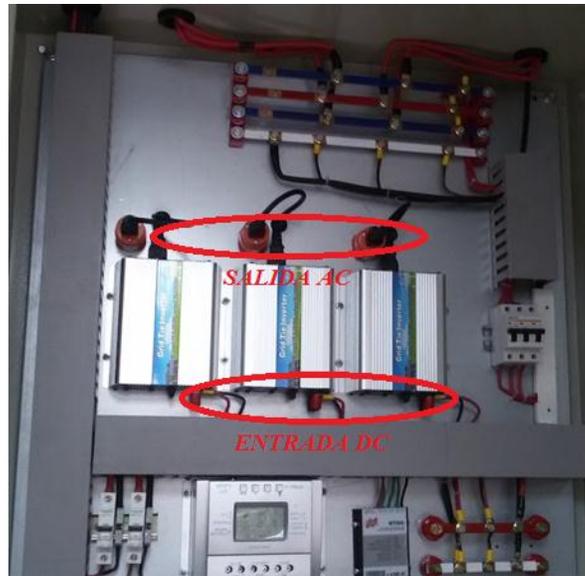


FIGURA 25. INSTALACIÓN DE LAS BARRAS DC.  
Fuente: Autor

### 3.1.9. Instalación de los inversores.

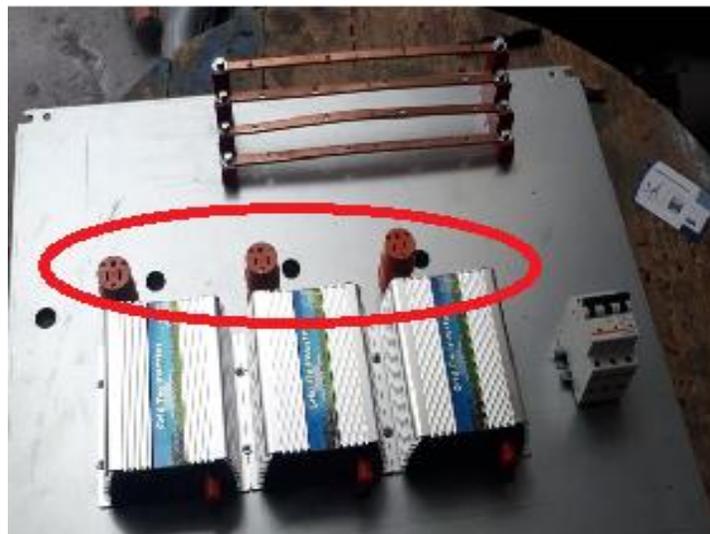
Los inversores son monofásicos se los instala en el tablero después de las barras en DC de donde se alimentan con un voltaje de 12 VDC. La salida de los inversores se conecta a un tomacorriente de 120 VAC 15 A (Figura 26).



**FIGURA 26. INSTALACIÓN DE LOS INVERSORES.**  
Fuente: Autor

### 3.1.10. Instalación de Tomacorrientes.

Para la instalación de los tomacorrientes se instaló conductores de fase y neutro. Los cuales van, las fases de color rojo a un interruptor termo magnético de 10 A de 3 polos y el neutro de color negro a la barra AC (Figura 27).



**FIGURA 27. INSTALACIÓN DE TOMACORRIENTES.**  
Fuente: Autor.

### 3.1.11. Instalación del Interruptor termo magnético de 10 A 3 polos.

Este interruptor se instala en el tablero de control para la salida de los inversores. El cual cumple con la función de proteger contra cortocircuitos y sobrecargas a la instalación eléctrica. SU modelo es C60K-63 de marca CAMSCO (Figura 28).



*FIGURA 28. INSTALACIÓN DEL INTERRUPTOR TERMO MAGNÉTICO DE 10 (A) 3 POLOS.  
Fuente: Autor*

### 3.1.12. Montaje del Tablero de control y generación.

El tablero de control y generación está instalado en el edificio de CIELE, en el laboratorio de máquinas eléctricas. En este tablero llega la generación desde los paneles fotovoltaicos así como del micro generador eólico, se instalan los inversores y en las barras AC está instalado la alimentación del edificio de la carrera así como la carga. Para este montaje se tuvo en cuenta la facilidad de acceso y la seguridad del usuario, al momento de operar los equipos (Figura 29).



**FIGURA 29. MONTAJE DEL TABLERO DE GENERACIÓN Y CONTROL.**  
Fuente: Autor

### **3.1.13. Conexión del sistema de generación híbrida con la red eléctrica de distribución.**

La conexión es posible a que los inversores tienen un sistema de determinación de los parámetros eléctricos a los cuales están siendo sometidos, por lo que ellos trabajan e igualan los parámetros entre las fuentes (Figura 30).



**FIGURA 30. CONEXIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDA CON LA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN.**  
Fuente: Autor

### 3.2. Presupuesto.

En la tabla 11 se muestra el presupuesto para la implementación del sistema eólico-solar.

*TABLA 11. PRESUPUESTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN.*

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
1	Inversores con conexión a red 300 W	3	85	255
2	Paneles solares poli cristalinos 260 W	2	150	300
3	Batería ciclo profundo 102 Ah	1	200	200
4	Regulador de carga solar 60 A	1	84	84
5	Regulador de carga eólico 30 A	1	61,53	61,53
6	Tablero metálico SBOX 80x80x30 cm	1	99,88	99,88
7	Breaker riel CSC 3P 10A	1	6,10	6,10
8	Breaker riel din 1P 40 A	1	10,36	10,36
9	Conjunto eléctrico (cable, platina de cobre, aisladores, etc.)	1	44,73	44,73
10	Micro generador eólico de eje vertical 250 W	1	2907,47	2907,47
<b>VALOR TOTAL (USD)</b>				<b>2907,47</b>

Fuente: Autor

### 3.3. Pruebas de funcionamiento del sistema de micro generación eólico.

Luego de realizar la instalación y el montaje de los equipos en el tablero de control, así como de realizar la conexión entre cada uno de ellos, se procede a realizar la verificación del correcto funcionamiento y calibración de los componentes.

### 3.4. Micro generador eólico.

Se le realiza la medición del voltaje de salida en AC del micro generador eólico en el momento que existe el recurso eólico para así comprobar si los datos obtenidos son los que se necesitan para su buen funcionamiento (Figura 31).



**FIGURA 31. MICRO GENERADOR EÓLICO**  
Fuente: Autor

En la Figura 31 se verifica el funcionamiento del micro generador eólico tiene un voltaje de 13,21 V que son de similitud a los de placa de datos. Por lo que se determina que el micro generador está en correcto funcionamiento.

#### 3.4.1. Regulador de carga.

Una vez realizada la verificación del funcionamiento del micro generador eólico, se realiza mediciones con el multímetro ubicando las puntas en paralelo para medir el voltaje a la salida del interruptor AC y a la llegada del regulador eólico (Figura 32).



**FIGURA 32. REGULADOR DE CARGA EÓLICO.**  
Fuente: Autor

### **3.4.2. Sistema de almacenamiento (batería).**

Con la utilización del equipo de medición de corriente continua (DC), se determina la corriente de carga de la batería desde el regulador. De igual forma se determina el voltaje haciendo la medición en paralelo de los bornes (Figura 33).

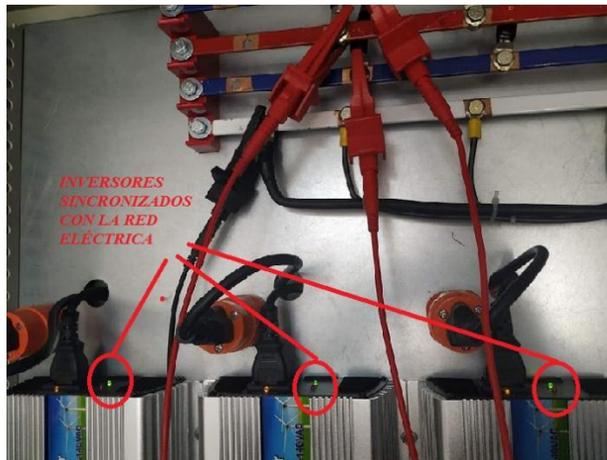


**FIGURA 33. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO (BATERÍA)**  
Fuente: Autor

En la Figura 33 se muestra la prueba de funcionamiento de la batería, la cual consiste en medir el voltaje en paralelo en sus terminales. El resultado es de 11,33, por lo que se determina que está funcionando correctamente.

### 3.4.3. Inversor

El funcionamiento del inversor debe ser comprobado a su salida donde los parámetros de voltaje y frecuencia deben ser los adecuados para conectarse a la red (Figura 34).



**FIGURA 34. FUNCIONAMIENTO DEL INVERSOR**  
Fuente: Autor

Como se observa en la figura 46 el encendido de la luz verde en los inversores quiere decir que tiene los mismos parámetros de la red eléctrica y que se acopla sin ninguna dificultad, por lo que se puede definir que están funcionando correctamente.

### 3.5. Resultados.

Para determinar los valores del correcto funcionamiento del sistema de micro generación eólico, se utiliza los equipos de medición existentes en la carrera de CIELE, los cuales nos ayudan a determinar el porcentaje de carga de la batería (%), voltaje de la batería (Vcc), voltaje de salida del micro generador eólico, corriente generada por el micro generador eólico (A), corriente de recarga de la batería (A), corriente de consumo (A).

Con la utilización de los equipos de medición se comprueba los valores de corriente y voltaje de los diferentes equipos que conforman el sistema. En la tabla 12 se muestran los valores obtenidos de la medición del sistema.

**TABLA 12. DATOS MEDIDOS DEL SISTEMA**

FECHA	HORA	% CARGA DE BAT.	V. BAT (V)	I. CARGA BAT. (A)	V. GENERADOR EOLICO(A)	I. GENERADOR EOLICO (A)	I. CONSUMO (A)
16/12/2019	14:00	85	12,18	14,56	14,87	6,05	11,77
16/12/2019	15:00	84	12,14	14,5	14,89	6,12	10,48
16/12/2019	16:00	85	12,16	14,52	15,03	6,09	11,03
16/12/2019	17:00	83	12,13	13,78	15,08	5,59	10,15
16/12/2019	18:00	81	12,1	13,62	15,12	5,68	8,33
16/12/2019	19:00	78	12,07	13,58	15,23	5,73	8,17
<b>PROMEDIO</b>		82,67	12,13	14,09	15,04	5,88	9,99
<b>MÁXIMO</b>		85	12,18	14,56	15,23	6,12	11,77
<b>MINIMO</b>		78	12,07	13,58	14,87	5,59	8,17

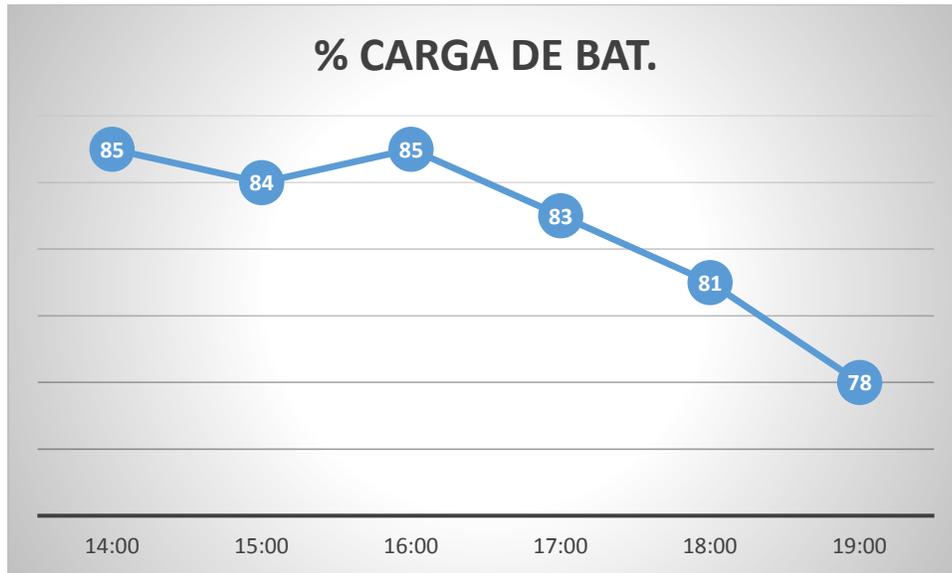
Fuente: Autor

#### 3.5.1. Gráficas de los datos obtenidos por las mediciones del sistema.

A continuación se muestra los valores obtenidos en la medición de los parámetros del sistema

- Porcentaje de Carga de Batería.

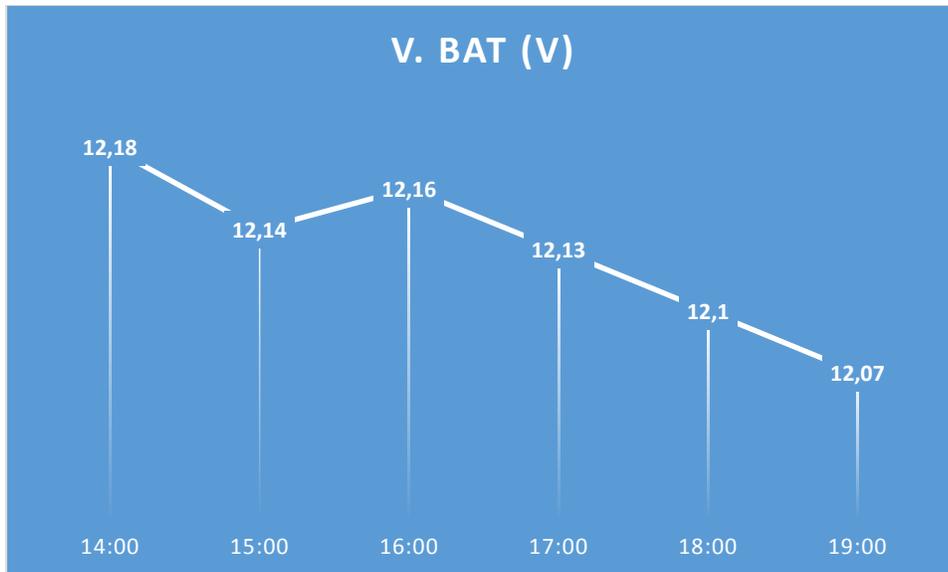
En la Figura 35 se muestra los valores del estado de carga de la batería, expresado en (%). El máximo valor es de 85 % el mínimo es de 78% y tiene un promedio de 82,67%, por lo que podemos determinar que el sistema eólico aporta a que la batería o entre en descarga.



**FIGURA 35. PORCENTAJE DE CARGA DE BATERÍA.**  
Fuente: Autor

- Voltaje de la batería.

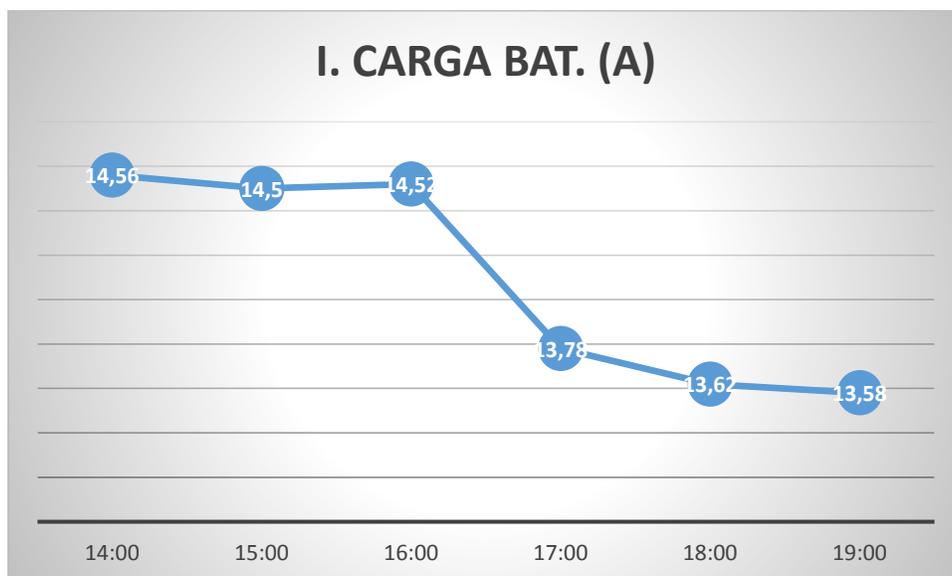
En la Figura 36 indica el voltaje de la batería el cual registra un valor máximo de 12,18, un mínimo de 12,07 y tiene un promedio de 12,13. Por lo que podemos decir que la batería tiene una carga constante y está funcionando correctamente.



**FIGURA 36. VOLTAJE DE BATERÍA**  
Fuente: Autor

- Corriente de recarga de la batería.

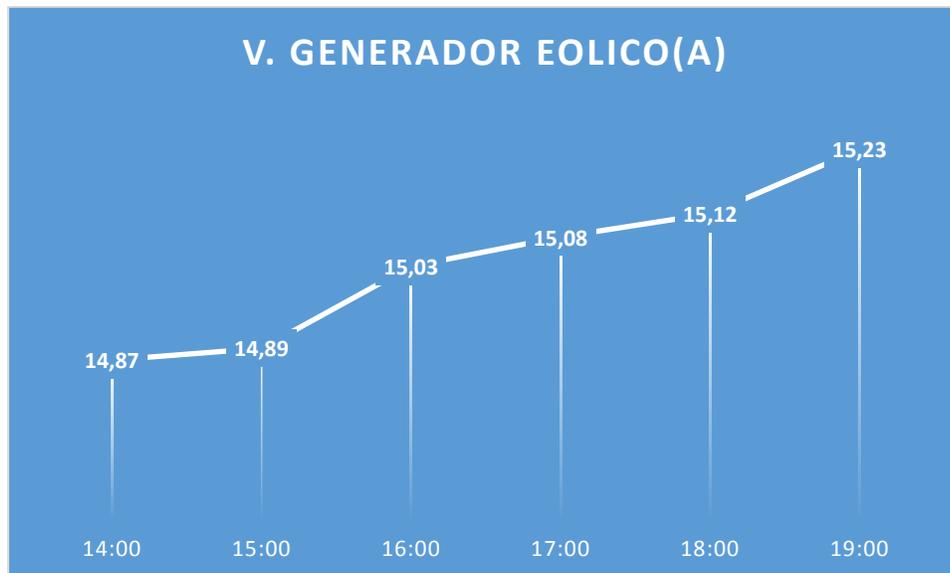
En la Figura 37 se evidencia la corriente que recarga la batería, en (A). El máximo valor es 14,56 (A), el mínimo valor es 13,58 (A) y tiene un promedio de 14,09 (A).



**FIGURA 37. CORRIENTE DE CARGA DE LA BATERÍA**  
Fuente: Autor

- Voltaje de salida del micro generador eólico (V).

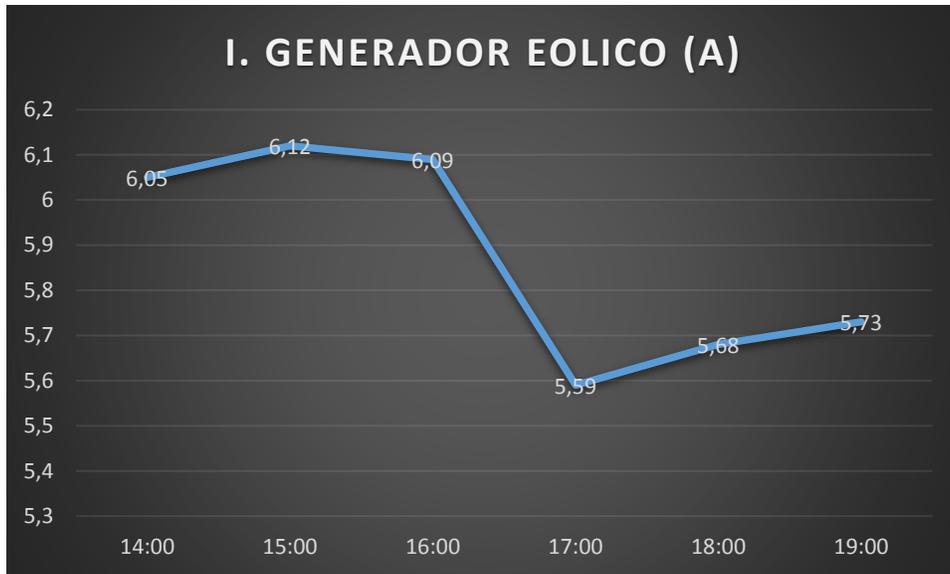
En la Figura 38 indica el voltaje de salida del micro generador eólico. En el tiempo de medición existe un voltaje máximo de 15,23 V, un voltaje mínimo de 14,87 y un promedio de 15,04, donde se puede decir que el sistema de micro generación eólico está funcionando correctamente.



**FIGURA 38. VOLTAJE DEL MICRO GENERADOR EÓLICO (V).**  
Fuente: Autor

- Corriente del micro generador eólico

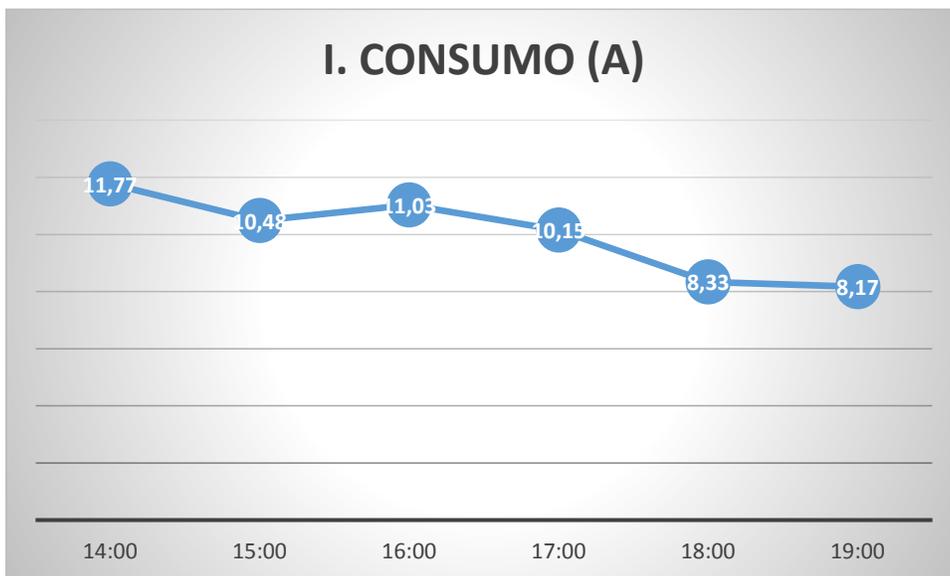
En la Figura 39 se observa la corriente entregada por el micro generador eólico en (A). El máximo valor es 6,12 (A), su mínimo valor es de 5,59 (A) y un promedio durante el día de medición de 5,88 (A).



**FIGURA 39. CORRIENTE MICRO GENERADOR EÓLICO**  
Fuente: Autor

- Corriente de Consumo.

En la Figura 40 se aprecia la corriente de consumo. El máximo valor registrado es de 11,77 (A), un mínimo de 8,17 (A) y un promedio de 9,99 (A).



**FIGURA 40. CORRIENTE DE CONSUMO**  
Fuente: Autor

### 3.5.2. Potencia generada.

En la Tabla 13 se muestra la fecha y la potencia promedio generada por el sistema de micro generador eólico. El máximo valor registrado es de 91,53 W, el mínimo es de 84,29 W y el promedio es de 88,34 W.

TABLA 13. POTENCIA GENERADA POR EL SISTEMA DE MICRO GENERACIÓN EÓLICA.

FECHA	HORA	POTENCIA GENERADA (W)
16/12/2019	14:00	89,9635
16/12/2019	15:00	91,1268
16/12/2019	16:00	91,5327
16/12/2019	17:00	84,2972
16/12/2019	18:00	85,8816
16/12/2019	19:00	87,2679
<b>PROMEDIO</b>		88,34
<b>MÁXIMO</b>		91,5327
<b>MINIMO</b>		84,2972

Fuente: Autor

En la Figura 53 se aprecia la gráfica de los valores de la potencia generada por el micro generador eólico, con una potencia máxima de 91,53 W un mínimo de 84,29 (W) y un promedio de 88,34 (W), estos valores pueden variar de acuerdo a la cantidad de recurso existente, el recurso eólico no es contante por lo que se lo toma en la tarde ya que es más significativo los valores que se puede obtener.



FIGURA 41. POTENCIA GENERADA

Fuente: Autor

## CONCLUSIONES

- ❖ Para la implementación del sistema de micro generación eólico integrado a la red eléctrica, se realiza un estudio de diferentes parámetros; así también el análisis de las diferentes tecnologías para la medición del recurso eólico y la generación de electricidad. De esta manera se realizó el proyecto siguiendo cada uno de los pasos para determinar los equipos necesarios para aprovechar el mayor recurso existente.
- ❖ En el campus principal de la Universidad Técnica del Norte se pudo comprobar la existencia del recurso eólico en un rango de 2 m/s a 9 m/s. Por lo que se puede determinar que no existe mucho recurso eólico para cubrir la carga total de la infraestructura de CIELE y solo se puede generar una parte de esta carga. El recurso eólico no es constante tenemos variaciones, dando que en la tarde a partir de las 3 p.m. el recurso es visible.
- ❖ El diseño del sistema de micro generación eólico, nos permite seleccionar los equipos con las características adecuados a los cálculos obtenidos, esto ayuda al aprovechamiento del recurso eólico para la generación de electricidad. Con respecto a la integración de la red eléctrica de la infraestructura de CIELE el diseño mediante los inversores se encargan de sincronizar los parámetros de voltaje y frecuencia.
- ❖ El diseño del sistema de almacenamiento se lo realiza de acuerdo a los cálculos y a la potencia del sistema de generación a instalar. Se colocó una batería la cual sirve para estabilizar el sistema y de esta manera permite que no haya daños ni en la generación ni en la red.
- ❖ Esta implementación a la red eléctrica del sistema de generación eólica es la primera a nivel nacional, por lo que se tuvo que realizar un estudio de las diferentes tecnologías las mismas que no están disponibles en el mercado nacional, se adquirió equipos importados desde Chile y Estados Unidos.

## RECOMENDACIONES

- ❖ Incentivar a la sociedad al uso de sistemas de generación eléctrica a partir de recursos renovables, ya que estos pueden instalarse en la infraestructura de las casas para disminuir la factura del consumo eléctrico y a la no contaminación ambiental.
- ❖ La implementación de un sistema híbrido eólico- solar conectado a la red ayuda a tener energía eléctrica las 24 horas del día, ya que se aprovecha el recurso solar en el día y el recurso eólico en la noche, la instalación del sistema de almacenamiento es opcional.
- ❖ La tecnología eólica es nula en nuestro país por lo que se recomienda hacer un análisis de viabilidad, ya que se necesita equipos de buena fabricación para que el sistema tenga una mayor duración, por lo que los costos de los equipos son un poco altos.
- ❖ En el Ecuador no se ha tomado en cuenta mucho la generación eléctrica a partir del recurso eólico, la fabricación ni la importación de equipos, por lo que se recomienda facilitar a las empresas la importación, para de esta manera incentivar el uso y no ser víctimas de estafa por parte empresas internacionales al realizar la compra.

## Referencia

- Agencia de Regulacion y Control de Electricidad. (2018). *Resolucion ARCONEL -042/18, Regulación ARCONEL- 003/18*. Quito.
- Agencia de Regulacion y Control de Electricidad. (s.f.). *Arconel*. Obtenido de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/ecuador-posee-un-5155-de-energia-renovable/>
- AIE. (2015). *10 Argumentos a favor de las energias renovables- Sostenibilidad para todos*. Revista National Geographic.
- Ald, M. (2017). Niveles de Volatje en el Ecuador. *SCRIBD*, 1-10.
- Aldariz, I. F. (2018). Energía eólica: qué es, tipos, funcionamiento, usos, ventajas y desventajas. *GREENTEACH*.
- ALEGSA. (2018). *ALEGSA.COM.AR*. Obtenido de Diccionario de Informática y Tecnología: <http://www.alegsa.com.ar/Dic/sistema.php>
- ALEGSA.COM.AR. (2018). Definicion del sistema. *Diccionario de Informatica y Tecnología*, 1-1.
- Alrikabi, N. (2014). Renewable Energy Types. *Journal of Clean Energy Technologies*, Vol. 2, 62-64.
- Amazon. (2019). *Marsrock 400 W, 500 W, 600 W, generador de turbina de viento driver IP67 resistente al agua 12 V/24 V Regulador automático AC a DC* . Obtenido de [https://www.amazon.com/MarsRock-Generator-Controller-Waterproof-Automatic/dp/B078C66729/ref=pd\\_day0\\_hl\\_86\\_1/136-7998305-2847624?\\_encoding=UTF8&pd\\_rd\\_i=B078C66729&pd\\_rd\\_r=e6eaf670-9239-11e9-b8bc-89a94018c827&pd\\_rd\\_w=z9Cbu&pd\\_rd\\_wg=sYF5h&pf\\_rd\\_p=ad07871c-e6](https://www.amazon.com/MarsRock-Generator-Controller-Waterproof-Automatic/dp/B078C66729/ref=pd_day0_hl_86_1/136-7998305-2847624?_encoding=UTF8&pd_rd_i=B078C66729&pd_rd_r=e6eaf670-9239-11e9-b8bc-89a94018c827&pd_rd_w=z9Cbu&pd_rd_wg=sYF5h&pf_rd_p=ad07871c-e6)
- ARCONEL. (2016). Estadística Anual y Multianual del sector Eléctrico Ecuatoriano. *Agencia de Regulación y Control de Electricidad*, 24-188.
- ARCONEL. (2016). *Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano*. Quito: circulo.
- ARCONEL. (2018). *Balance Nacional de Energía Eléctrica*. Quito.
- Aura Energias. (27 de agosto de 2018). *RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGIA ELECTRICA*. Obtenido de <https://www.aura-energia.com/red-distribucion-energia-electrica/>
- Baldomero, M. P. (2014). Analisis de diferentes álabes de un generador de eje vertical para oxigenar estanques de peces. *Scielo*.
- barlovento. (Septiembre de 2013). *Barlovento obtiene la primera acreditación para ensayos de duración de pequeños aerogeneradores*. Obtenido de <http://www.energias-renovables.com>
- Baylina, F. L. (2018). *Anemometro, Veleta y Amenocinómetrografo*. Madrid.
- Brown, T. (2019). Wind Energy. *National Geographic*.
- Caita, C. E., & Molina, L. J. (2014). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MINI AEROGENERADOR DE EJE VERTICAL*. Bogota D.C: UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.

- Calle, M. G. (2019). *Estudio técnico económico de la energía solar fotovoltaica y mini eólica a pequeña escala*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Calvo, M. (2012). *¿Que es la energía eólica?* Mexico: twenergy.
- Calvo, M. (2012). *¿Que son las Energías Renovables?* Mexico: Twenergy.
- Contenidos Didacticos Energias Renovables. (2017). *Energias Renovables*. 3-29.
- Corporación Electrica del Ecuador. (2019). *CELEC EP*. Obtenido de <https://www.celec.gob.ec/gensur/index.php/contacto/direccion/2-uncategorised/47-que-es-la-energia-eolica>
- Duarte, G. (2008). *Energía*. Obtenido de Definicion ABC: <https://www.definicionabc.com/ciencia/energia.php>
- ECOVIVE. (Noviembre de 2016). *Los Aerogeneradores según el número de Palas*. Obtenido de <https://ecovive.com/los-aerogeneradores-segun-el-numero-de-palas/>
- Edgar David Guarin, N. M. (2016). Modelización del efecto Coriolis sobre el movimiento de proyectiles de largo alcance. *Revista de Enseñanza de la Física*.
- EDP España. (2016). *EDP*. Obtenido de <https://www.sostenibilidadedp.es/pages/index/redes-de-distribucion>
- Elizabeth, M. (2013). No-renewable energy. *National Geographic*.
- Felix. (11 de Mayo de 2019). *Tipos de Aerogeneradores Verticales y sus Aplicaciones*. Obtenido de <https://www.lbaindustrial.com.mx/aerogeneradores-verticales/>
- Gable, S. (2019). Inverters ans Converters in Hybrids and EV (Electroc Vehicles). *ThoughtCo*.
- González, R. (2012). EL DISEÑO DE AEROGENERADORES BUSCA NUEVOS AIRES. *twenergy*.
- González, R. (2013). *La Red Electrica*. Twenergy.
- Helmenstine, A. M. (31 de Mayo de 2019). *10 Types of Energy and Examples*. Obtenido de [shorturl.at/aBPQX](http://shorturl.at/aBPQX)
- Hunan Rika Electronic echnology Co., Ltd. (2015). RK110-02 Wind Direction Sensor. *RIKA*, 1-3.
- Hunan Rika Electronic Technology Co., Ltd. (2015). RK100-02 Wind Speed Sensor. *Rika*, 1-3.
- Hunan Rika Electronic Technology Co., Ltd. (2015). RK600-01 Data Logger. *RIKA*, 1-9.
- JM Industrial Technology S.A de CV. (s.f.). *Data Logger*. Mexico D.F.
- Julián Perez, M. M. (2012). *Definicion de Energía*.
- LBA Industrial. (2019). Tipos de Aerogeneradores verticales y sus aplicaciones. *Energia Limpia y Tecnologia inteligente*.
- LBA Industrial. (11 de Mayo de 2019). *Energía Limpia y Tecnologia Inteligente*. Obtenido de [https://www.lbaindustrial.com.mx/aerogeneradores-verticales/#Aerogeneradores\\_Giromill](https://www.lbaindustrial.com.mx/aerogeneradores-verticales/#Aerogeneradores_Giromill)

- Lloyd, D. (2014). Wind Energy: Advantages and Disadvantages. 1.
- MEER. (2018). Atlas Eólico del Ecuador. 21-56.
- Milborrow, D. (2011). Are three blades really better than two? *WINDPOWER*.
- Miñarro, R. J. (2018). La Energia. *UNAM*, 2-19.
- Mohtasham, J. (2015). Revisión Artículo-Energías Renovabl. *ScienceDirect*.
- Mounia, Z. (2017). Review of Savonius wind Turbine design and performance. *ScienceDirect*, 2-6.
- MppSolar. (2018). Funcionamiento de los Aerogeneradores. *Mpp Solar*.
- Muerza, A. F. (12 de Abril de 2014). *Aerogeneradores de Eje Vertical*. Obtenido de <https://www.ecoticias.com/energias-renovables/24746/noticias-energias-renovables-verdes-limpias-alternativas-sostenibles-sustentables-eolica-geotermica-solar-termsolar-concentracion-eficiencia-energetica-definicion-tipos-ventajas-paneles-placas>
- Nauí, C. Y. (2017). *E-BOOK: ENERGÍA EÓLICA – NOCIONES BÁSICAS. LA ENERGÍA EÓLICA SIGUE CRECIENDO A NIVEL MUNDIAL*. Twenergy.
- Náutica Formación. (2018). Escala de Beaufort y douglas: La fuerza del viento y el oleaje. *Nautica Formación*.
- Opex Energy. (s.f.). *Tipos de Aerogeneradores*. Obtenido de [http://opex-energy.com/eolica/tipos\\_aerogeneradores.html#1.\\_SEGUN\\_EL\\_EJE\\_DE\\_GIRO\\_DEL\\_ROTOR](http://opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html#1._SEGUN_EL_EJE_DE_GIRO_DEL_ROTOR).
- Pablo Cobreiro Rodriguez, N. J. (2014). Aerogeneradores(I): funcionamiento y marco normativo de prevención de riesgos laborales. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*, 1-6.
- PAMPA ENERGIA. (2018). Pampa Energia y Vestas instalan aerogenerador en escuelas de Coronel Rosales. *Agencia Nuevas Palabras*.
- Phuangpornpitak. (2014). Opportunities and Challenges of Integrating Renewable Energy in Smart Grid System. *Sciverse ScienceDirect*, 2-9.
- Regulación Eléctrica del Ecuador. (2017). Obtenido de <https://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/11/Infraestructura-ele%CC%81ctrica-del-Ecuador-2017.pdf>
- Review of savonius wind turbine desing and performance. (2017). *Science Direct*, 2-6.
- Rodriguez, J. A. (2019). *Energía*. Obtenido de <https://tiposdeenergia.online/eolica/>
- Saoirse, K. (2018). The Scientific Reason Why Wind Turbines Have 3 Blades. *Interesting Engineering*.
- Shiva, G. (2017). Renewable Energy Technologies. *ONE COMPLETE FLOW ENERGY SOLUTION*, 2-42.
- Significados.com. (30 de 01 de 2019). *Significados.com*. Obtenido de <https://www.significados.com/sistema/>
- SOLAR GRID SERIES INVERTER. (2016). *Grid Tie Inverter*. Obtenido de <http://www.maywahcn.com/download/2016-GTI%20manual.pdf>

Soluciones Energetica S.A. (2014). Regulador de Aerogenerador. *Solerner*, 5-12.

SOTAVENTO. (Agosto de 2018). *Minieólica*. Obtenido de <http://www.sotaventogalicia.com/es/area-tecnica/instalaciones-renovables/minieolica>

Structuralia. (16 de Julio de 2018). *Aerogeneradores de eje vertical y horizontal: tipos, ventajas e inconvenientes*. Obtenido de <https://blog.structuralia.com/aerogeneradores-de-eje-vertical-y-horizontal-tipos-ventajas-e-inconvenientes>

Tecnovex. (2018). *Anemometro*. Paysandú.

TODO PRODUCTIVIDAD. (26 de Septiembre de 2014). Obtenido de [http://todoproductividad.blogspot.com/2010/09/los-sistemas-de-energias-renovables\\_26.html](http://todoproductividad.blogspot.com/2010/09/los-sistemas-de-energias-renovables_26.html)

Tully, A. (2014). Two Bladed wind Turbines: something old is new again. *OILPRICE*.

Vasquez, R. G. (2013). *Desarrollo Sustentable en la Ciudad de Piura*. Fundacion Universitaria Andaluz Inca Garcilaso.

Vercelli, A. (2012). *¿Qué es la microgeneración de energías renovables?* Energías como Bienes Comunes.

Baylina, F. L. (s.f.). *Anemometro, Veleta y Amenocinemógrafo*. Madrid.

EcuRed. (2019). *Ibarra Ecuador*. Obtenido de [https://www.ecured.cu/Ibarra\\_\(Ecuador\)](https://www.ecured.cu/Ibarra_(Ecuador))

HUNAN RIKA ELECTRONIC TECHNOLOGY Co., Ltd. (2015). RK100-02 Wind Speed Sensor. *Rika*, 1-3.

Hunan Rika Electronic Technology Co., Ltd. (2015). RK110-02 Wind Direction Sensor. *RIKA*, 1-3.

Hunan Rika Electronic Technology Co., Ltd. (2015). RK600-01 Data Logger. *RIKA*, 1-9.

JM Industrial Technology S.A de CV. (s.f.). *Data Logger*. Mexico D.F.

Ministerio de Ciencia y Tecnologia. (s.f.). *Calculo de las Caidas de Tension*.

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2013). Atlas Eolico del Ecuador con fines de generación eléctrica. 21-56.

RETSCREEN. (2019). *Recursos Naturales de Canada*. Obtenido de <https://www.nrcan.gc.ca/energy/retscreen/7465>

Rstudio. (2019). *rstudio::conf*. Obtenido de <https://rstudio.com/products/team/>

Tecnovex. (2018). *Anemometro*. Paysandú.

Thorus. (2019). Catalogo TH-500-ES. *Tecnoogia en Energia Renovable*, 8-10.

# ANEXOS

## ANEXO A: PRACTICAS DE LABORATORIO

### Práctica 1

**1.1 Tema:** Reconocimiento de los equipos que conforman el sistema de generación híbrida eólica solar.

**1.2 Objetivo General:**

- ❖ Conocer los equipos que conforman el sistema de generación híbrida eólico solar.

**1.3 Objetivos Específicos:**

- ❖ Identificar el funcionamiento de los paneles solares y del micro generador eólico.
- ❖ Identificar el funcionamiento de los equipos del tablero de control y generación.

**1.4 Introducción.**

El sistema de generación híbrida está conformado por dos paneles fotovoltaicos de 260 W y un micro generador eólico de 250 W. Los cuales ingresan al tablero de generación y control, donde la energía generada en DC se convierte en energía de consumo en AC.

Las soluciones de energía híbrida permiten minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub>. Así como también disminuye el consumo energético ya que la energía se obtiene de fuentes renovables e ilimitadas.

**1.5 Equipos y Materiales.**

- ❖ Libreta de apuntes
- ❖ Esferos
- ❖ Multímetro

**1.6 Desarrollo**

1. Identificar los componentes de generación como son los paneles solares y el micro generador eólico.
2. Verificar los equipos que están dentro del tablero de generación y control y sus funciones

**Observación:** Para poder manipular los equipos se debe desenergizar el sistema de generación utilizando los interruptores termo magnéticos.

## Practica 2

**2.1 Tema:** Adquisición de mediciones en corriente continua de los equipos antes de los inversores.

### 2.2 Objetivo General:

- ❖ Realizar mediciones en corriente continua antes de los inversores.

### 2.3 Objetivos Específicos:

- ❖ Tomar mediciones de tensión y corriente en DC en los equipos antes de los inversores.
- ❖ Observar las formas de onda.

### 2.4 Introducción.

El sistema de generación híbrida tiene varios equipos donde se puede realizar mediciones de voltaje y corriente en DC, así por ejemplo a la salida de los paneles solares, en los reguladores de voltaje, batería, barra DC.

### 2.5 Equipos y Materiales.

- ❖ Pinza de corriente
- ❖ Multímetro
- ❖ Osciloscopio

### 2.6 Desarrollo

Conectar los cables de adquisición de mediciones en las salidas de los equipos en DC.

**Observación:** Realizarlo con supervisión de un docente y con Equipo de Protección Personal (EPP), ya que los equipos están energizados.

Para observar la forma de onda con el osciloscopio es importante configurar los parámetros de medida del equipo.

## PRACTICA 3

**3.1 Tema:** Adquisición de mediciones en corriente alterna de los equipos después de los inversores.

**3.2 Objetivo General:**

- ❖ Realizar mediciones en corriente alterna después de los inversores.

**3.3 Objetivos Específicos:**

- ❖ Tomar mediciones de tensión y corriente en AC en los equipos después de los inversores.
- ❖ Observar las formas de onda.

**3.4 Introducción.**

El sistema de generación híbrida tiene varios equipos donde se puede realizar mediciones de voltaje y corriente en AC, así por ejemplo a la salida de los inversores, en el interruptor de corriente alterna, barras AC.

**3.5 Equipos y Materiales.**

- ❖ Pinza de corriente
- ❖ Multímetro
- ❖ Osciloscopio

**3.6 Desarrollo**

Conectar los cables de adquisición de mediciones en las salidas de los equipos en AC.

**Observación:** Realizarlo con supervisión de un docente y con Equipo de Protección Personal (EPP), ya que los equipos están energizados.

Para observar la forma de onda con el osciloscopio es importante configurar los parámetros de medida del equipo.

## PRACTICA 4

**4.1 Tema:** Montaje y toma de datos con el Analizador de Red en el sistema de generación.

**4.2 Objetivo General:**

- ❖ Realizar mediciones de potencia, armónicos en el sistema de generación

**4.3 Objetivos Específicos:**

- ❖ Instalar el Analizador de red.
- ❖ Analizar los datos obtenidos.

**4.4 Introducción.**

Un analizador de red es un instrumento capaz de analizar las propiedades de las redes eléctricas en este caso de la generación, especialmente las propiedades asociadas con la reflexión y la transmisión de señales eléctricas.

**4.5 Equipos y Materiales.**

- ❖ Analizador de red

**4.6 Desarrollo**

Conectar los cables de adquisición de acuerdo al manual del usuario del equipo.

**Observación:** Realizarlo con supervisión de un docente y con Equipo de Protección Personal (EPP), ya que los equipos están energizados.

Instalar el programa Metal Power View para mostrar los datos en gráficos y poder observar de mejor manera.

## Practica 5

**5.1 Tema:** Montaje y toma de datos con el Analizador de Red en la red eléctrica.

### 5.2 Objetivo General:

- ❖ Realizar mediciones de potencia, armónicos en la red eléctrica.

### 5.3 Objetivos Específicos:

- ❖ Instalar el Analizador de red.
- ❖ Analizar los datos obtenidos.

### 5.4 Introducción.

Un analizador de red es un instrumento capaz de analizar las propiedades de las redes eléctricas en este caso de la generación, especialmente las propiedades asociadas con la reflexión y la transmisión de señales eléctricas.

### 5.5 Equipos y Materiales.

- ❖ Analizador de red

### 5.6 Desarrollo

Conectar los cables de adquisición de acuerdo al manual del usuario del equipo.

**Observación:** Realizarlo con supervisión de un docente y con Equipo de Protección Personal (EPP), ya que los equipos están energizados.

Instalar el programa Metal Power View para mostrar los datos en gráficos y poder observar de mejor manera.

## ANEXO B: DIAGRAMA MULTIFILAR DEL SISTEMA