



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE TECNOLOGÍA ELECTROMECAÁNICA

**MONOGRAFÍA, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA**

**TEMA: IMPLEMENTACIÓN DE UN AEROGENERADOR A TRAVÉS
DEL RECURSO EÓLICO EN LA GARITA DE VIGILANCIA DE LA
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-L, CAMPUS
BELISARIO QUEVEDO EN EL AÑO 2019**

AUTOR: YANCHALIKUÍN PAJUÑA, MARCO FERNANDO

DIRECTOR: ING. LARA JACOME, OSCAR RODRIGO MGS.

LATACUNGA

2019



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que la monografía, **“IMPLEMENTACIÓN DE UN AEROGENERADOR A TRAVÉS DEL RECURSO EÓLICO EN LA GARITA DE VIGILANCIA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-L, CAMPUS BELISARIO QUEVEDO EN EL AÑO 2019”** fue realizado por el señor **Yanchaliquín Pajuña, Marco Fernando**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido: por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditarlo y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 06 de febrero del 2020

ING LARA JACOME, OSCAR RODRIGO MGS.

C.C. 0502960594



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Yanchaliquín Pajuña, Marco Fernando**, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **IMPLEMENTACIÓN DE UN AEROGENERADOR A TRAVÉS DEL RECURSO EÓLICO EN LA GARITA DE VIGILANCIA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-L, CAMPUS BELISARIO QUEVEDO EN EL AÑO 2019**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación es veraz.

Latacunga, 06 de febrero del 2020

.....

Yanchaliquín Pajuña, Marco Fernando

C.C.: 1720524717



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **Yanchaliquín Pajuña, Marco Fernando**, autorizo a la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de monografía: **IMPLEMENTACIÓN DE UN AEROGENERADOR A TRAVÉS DEL RECURSO EÓLICO EN LA GARITA DE VIGILANCIA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-L, CAMPUS BELISARIO QUEVEDO EN EL AÑO 2019**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 06 de febrero del 2020

.....

Yanchaliquín Pajuña, Marco Fernando

C.C.: 1720524717

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN.....	xi

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1	Tema	1
1.2.	Antecedentes.....	1
1.3.	Planteamiento del problema	2
1.4.	Justificación	4
1.5.	Objetivo general.....	4
1.6.	Objetivos específicos.....	5
1.7.	Alcance.....	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Reseña histórica de la energía eléctrica	7
2.2.	Energías renovables	9
2.3.	Energías verdes.....	10
2.3.1.	Energía solar	11
2.3.2.	Energía mareomotriz	12
2.3.3.	Energía eólica.....	15
2.4.	El viento	16
2.4.1.	Vientos de superficie	17
2.5.	Historia de la energía eólica	18
2.5.1.	Principales parques eólicos a nivel mundial	21
a.	Complejo eólico Gansu 7.965 MW. Gansu (CHINA)	21
b.	Centro de energía eólica Alta 1.547MW California (EEUU).....	22
c.	Parque eólico de Muppandal 1500MW. Tamil Nadu (india).....	22
2.5.2.	Proyectos eólicos en Ecuador	23
2.5.3.	Generador.....	29
2.5.4.	Freno	30
2.5.5.	Torre	30

2.5.6.	Tipos de turbinas eólicas	31
2.6.	Conocimientos teóricos básicos para un sistema eólico.....	35
2.6.1.	Rosa de los vientos	35
2.6.2.	Velocidad del viento.....	37
2.6.3.	Potencia del viento	38
2.7.	Registro de equipos de comunicación y monitoreo de seguridad en la garita de vigilancia	41
2.7.1.	Cálculos de demanda de energía de los equipos de monitoreo	42
2.7.2.	Cálculo del banco de almacenamiento de energía	42

CAPÍTULO III

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

3.1.	Localización del proyecto a implementar.....	44
3.2.	Aspectos a tomar para la selección de una turbina eólica	45
3.3.	Aplicaciones de un sistema eólico domiciliario	49
3.3.1.	Rendimiento de la turbina eólica Exmork ZH500W	50
3.3.2.	Controlador de operación	51
3.3.3.	Inversor Exmork de 1KVA.....	55
3.4.	Conmutador de transferencia	58

3.4.1.	Tipos de conmutador de energía	60
3.4.2.	Ventajas de utilizar conmutadores de transferencia	60
3.4.3.	Conmutador Rohs FC CE	61
3.5.	Banco de baterías.....	64
3.5.1.	Batería AlphaCell 4.0 hp de 100Ah.....	65
3.5.2.	Conexión del banco de baterías	67
3.6.	Instalación de la turbina Exmork ZH500W.....	68
3.6.1.	Designación de los conductores necesarios para la instalación del sistema eólico	69
3.6.2.	Cálculo de conductores para bornes de batería	71
3.6.3.	Cálculo de conductores para CA del ats hasta las cargas.....	73
3.7.	Ensayos de funcionamiento.....	77

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.	Conclusiones	81
4.2.	Recomendaciones.....	83

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
---	-----------

ANEXOS	89
---------------------	-----------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Promedio de velocidad de viento anual en Latacunga 2019</i>	37
Tabla 2. <i>Estudio de carga del sistema de comunicación</i>	42
Tabla 3. <i>Registro de viento en la comunidad Belisario Quevedo</i>	45
Tabla 4. <i>Características técnicas de la turbina EXMORK ZH500W</i>	48
Tabla 5. <i>Parámetros técnicos de la turbina EXMORK ZH500W</i>	54
Tabla 6. <i>Partes del inversor 1000KVA</i>	57
Tabla 7. <i>Especificaciones técnicas del conmutador Rohs FC EC</i>	63
Tabla 8. <i>Prueba inicial de funcionamiento del inversor 1000KVA</i>	77
Tabla 9. <i>Prueba de rendimiento de banco de baterías.</i>	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Energía fotovoltaica.....	11
Figura 2. Generador mareomotriz de corriente de marea.....	14
Figura 3. Generador mareomotriz de presa de marea	14
Figura 4. Proceso de generación eólica.....	15
Figura 5. Formación de corrientes eólicas.....	17
Figura 6. Vientos de superficie	18
Figura 7. Embarcaciones en el antiguo Egipto	19
Figura 8. Parque eólico Towards 2000	20
Figura 9. Complejo eólico Gansu. 7.965 MW. Gansu (China)	21
Figura 10. Centro de energía eólica Alta 1.547MW California (EEUU)	22
Figura 11. Parque eólico de Muppandal 1500 MW. Tamil Nadu (India).....	23
Figura 12. Partes de turbina eólica	26
Figura 13. Tipos de álabes.....	27
Figura 14. Caja multiplicadora	28
Figura 15. Generador eólico	29
Figura 16. Torre eólica.....	31
Figura 17. Aero generador horizontal.....	33
Figura 18. Potencia producida en función del largo del álabes.....	34
Figura 19. Aero generador vertical	35
Figura 20. Rosa de los vientos	36
Figura 21. Dirección del viento en Latacunga.....	36
Figura 22. Observación del viento a la fecha 23/07/2019.....	38

Figura 23. Cálculo de potencia del viento.....	40
Figura 24. Situación geográfica de la Universidad de FF.AA. ESPE	44
Figura 25. Incidencia de viento en Latacunga	47
Figura 26. Curva de rendimiento de la turbina Exmork ZH500W	50
Figura 27. Controlador Exmork FKJ-A	52
Figura 28. Diagrama de conexiones para el controlador Exmork FKJ-A.....	53
Figura 29. Inversor Exmork 1KVA.....	55
Figura 30. Partes externas del inversor Exmork de 1KVA.....	57
Figura 31. Conmutador de transferencia	59
Figura 32. Switch de transferencia automática (ATS) Rohs FC EC.....	62
Figura 33. Esquema de conexión de conmutador.....	63
Figura 34. Batería AlphaCell 4.0 HP.....	65
Figura 35. Curva de rendimiento de batería según el clima	66
Figura 36. Circuito de conexión de baterías.....	67
Figura 37. Conexión de un sistema de generación híbrido.....	68
Figura 38. Datasheet de cables AWG.....	70
Figura 39. Tamaños de cables para la conexión con los bornes.....	71
Figura 40. Instalación de turbina Exmork 500W.....	74
Figura 41. Cableado del generador hasta los equipos de control	75
Figura 42. Verificación de paso de corriente.....	75
Figura 43. Instalación de Switch de transferencia automática (ATS).....	76
Figura 44. Comprobación de voltajes en las entradas y salidas.....	76

RESUMEN

La generación de energía eólica es el proceso donde se aprovecha la energía cinética que contiene el viento y se la transforma en electricidad; para fomentar el cambio de matriz productiva energética convencional se instaló un sistema completo de producción eólico, que, previo a los estudios de viabilidad pertinentes se justificó su implementación junto a la garita de acceso principal a la Universidad de Fuerzas Armadas campus Guillermo Rodríguez Lara; a fin de brindar un suministro energético alternativo para el sistema de comunicación y vigilancia con el que cuenta el personal de guardianía civil y militar. Para iniciar los trabajos se contó con la ayuda del centro meteorología de la base aérea Cotopaxi y la estación meteorológica del Departamento de Energías Renovables de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, mismas que brindaron las mediciones de viento necesarias para hacer posible la instalación de una turbina eólica modelo Exmork ZH 500W. Ya iniciando operaciones la turbina eólica; se comprobó que es posible la generación de energía limpia en cantidades limitadas según el cálculo de cargas a las que se requiere energizar; a más de ser un objeto llamativo para la comunidad de Belisario Quevedo y un punto de investigación para la comunidad universitaria. La energía eólica, por tratarse de un recurso inagotable resulta una opción viable para sectores aislados de la red de alimentación pública como caseríos y destacamentos militares, con el fin de facilitar operaciones en horas de oscuridad.

PALABRAS CLAVE:

- **TURBINA EÓLICA**
- **ENERGÍA EÓLICA**
- **ENERGÍA RENOVABLE**

ABSTRAC

Wind power generation is the process that takes advantage of the kinetic energy contained in the wind and transforms it into electricity. In order to promote a change in the conventional energy production matrix, a complete wind power production system was installed, which, prior to the relevant feasibility studies, was justified for implementation next to the main access gateway to the Guillermo Rodríguez Lara campus of the University of the Armed Forces, in order to provide an alternative energy supply for the communication and surveillance system available to civilian and military guard personnel. To start the work, the meteorological center of the Cotopaxi air base and the meteorological station of the Renewable Energies Department of the University of the Armed Forces ESPE, provided the necessary wind measurements to make possible the installation of a wind turbine model Exmork ZH 500W. The wind turbine has already begun operations; it has proven that it is possible to generate clean energy in limited quantities according to the calculation of the loads that need to be energized; in addition to being an eye-catching object for the community of Belisario Quevedo and a research point for the university community. Wind energy, being an inexhaustible resource, is a viable option for isolated sectors of the public power grid such as farmhouses and military detachments, in order to facilitate operations in hours of darkness.

KEYWORDS:

- **WIND TURBINE**
- **WIND POWER**
- **RENEWABLE ENERGY**

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Tema

Implementación de un aerogenerador a través del recurso eólico en la garita de vigilancia de La Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE-L, campus Belisario Quevedo en el año 2019.

1.2. Antecedentes

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE inicio sus actividades en 1922 bajo el concepto de Escuela de Oficiales Ingenieros, para formar especialistas en el ámbito militar, posteriormente; por la relevancia de la ingeniería a nivel global evidenciada tras la segunda guerra mundial, cambio su nombre a Escuela Técnica de Ingenieros abriendo su puertas a estudiantes civiles en 1972; con la finalidad de compartir con ellos la excelente formación que impartían sus catedráticos los cuales mostraban un gran profesionalismo civil militar. Para el año de 1977 el Congreso Nacional resuelve su cambio de nombre a Escuela Politécnica del Ejército.

De acuerdo con la Ley Orgánica de Educación Superior (LOES) en el 2013, se aprobó la fusión de los tres centros de educación superior de las Fuerzas Armadas (Escuela Politécnica del Ejército, Universidad Naval Morán Valverde e Instituto Superior Aeronáutico) pasando a denominarse Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE, otorgando títulos de tercer nivel tanto a personal civil y militar que se especializan en sus diferentes escuelas de formación.

Desde el 2009 hasta la fecha ostenta la categoría A; calificación más alta otorgada a los Centros de Educación Superior en el Ecuador. Actualmente es considerado uno de los centros de educativos de nivel universitario con más prestigio a nivel nacional, formando parte de la Red Ecuatoriana de Universidades para la Investigación y Postgrados. Contando con cinco sedes ESPE-Sangolquí, ESPE-Latacunga, Ciencias Tecnológicas Héroes del Cenepa-Quito e IASA- Santo Domingo mostrando un remanente de ejemplo y progreso al servicio tanto de jóvenes como profesionales que buscan actualizar sus conocimientos con docentes y educación de calidad.

1.3. Planteamiento del problema

Desde sus orígenes el ser humano ha necesitado fuentes de energía que les permita facilitar sus actividades diarias que van desde las más básicas hasta las más complejas como las que podemos observar en la actualidad. Esta búsqueda se ha reflejado a lo largo de los años, que, a través de casualidades, ensayos o incluso errores nos ha brindado las capacidades con las que hoy contamos; no obstante, el crecimiento de la tecnología también nos trae graves consecuencias como: campos llenos de basura, ríos contaminados sin vida, aparición de nuevas enfermedades, el consumo indiscriminado de recursos hídricos que en el presente no se los puede considerar como renovables debido al calentamiento global.

Desde que el hombre controló la electricidad, no sólo se nos ha permitido prolongar nuestra vida útil al incrementar las horas de luz disponibles cada día, sino que ha abierto la puerta a utilizarla en todo tipo de procesos productivos: desde la agricultura a la medicina, pasando por la industria, los transportes o la informática. Punto que a simple

vista parece favorable para el desarrollo de la humanidad, pero a su vez el impacto sobre el medio ambiente creció de manera que se lo puede considerar irreparable. El incremento diario de la población humana hace que necesariamente el sector industrial y energético crezca para satisfacer sus innumerables necesidades; consumiendo más recursos, explotando selvas vírgenes con yacimientos de petróleo, alargando las horas de funcionamiento de maquinaria.

Los sistemas convencionales de generación energética se ven obligados al consumo de combustibles derivados del petróleo; que producen gases contaminantes para el medio ambiente o a su vez la deformación de grandes extensiones de terreno para edificar sus instalaciones. Bajo el concepto de búsqueda de energías alternativas, amigables con el medio ambiente; se da apertura a recursos que no se habían tomado en cuenta por la falta de tecnología necesaria para su utilización de manera eficiente. La energía eólica es un recurso inagotable presente en cada rincón del planeta; con el que se puede producir energía limpia; sirviendo como un sistema energético auxiliar que permita una autonomía operacional, consintiendo el funcionamiento de los equipos de vigilancia, monitoreo y comunicación en la garita de acceso principal a La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-, campus Belisario Quevedo que se verían afectados por la falta de electricidad, vulnerando la seguridad de las instalaciones, equipos, talleres, laboratorios y estudiantes que asisten a la institución; imposibilitando el aviso inmediato a las autoridades competentes para controlar amenazas.

1.4. Justificación:

Actualmente el Ecuador es un país en vías de desarrollo que apunta al cambio de su matriz energética como referente de progreso e innovación, siempre apoyando a nuevos proyectos basados en energías renovables de generación limpia a nivel nacional.

Estos nuevos procesos ayudaran a disminuir el consumo de combustibles derivados de petróleo con el que son accionados los generadores energéticos convencionales, reduciendo la emisión de CO₂ al medio ambiente, lo que podrá garantizar el abastecimiento de energía eléctrica y una mejor calidad de vida para los usuarios.

La energía eólica es una de las fuentes de energía más antigua, renovable, que no contamina, inagotable disponible prácticamente en todo el mundo, convirtiéndola en una de las fuentes energéticas más eficiente de todas las energías renovables.

El proyecto busca fomentar la iniciativa de fuentes alternativas de energía limpia, renovable que abastezcan de manera eficiente los suministros de electricidad, que permitan el óptimo funcionamiento de los equipos de monitoreo y seguridad de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga

1.5. Objetivo general:

Implementar un dispositivo de generación eólica que aproveche las corrientes de aire del sector para el funcionamiento del circuito de distribución eléctrica de la garita de acceso a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Campus Belisario Quevedo.

1.6. Objetivos específicos:

- Investigar los requerimientos eólicos necesarios en base a los datos obtenidos por la estación meteorológica ubicada en el campus Belisario Quevedo para el accionamiento de un aerogenerador con el fin de que su funcionamiento sea eficiente.
- Determinar el tiempo de funcionamiento del aerogenerador para cargar el banco de baterías dispuesto a la alimentación de los puntos de distribución en la garita de vigilancia a base de pruebas de operatividad.
- Implementar un instrumento automático de transferencia de energía eléctrica que nos permita el cambio de fuente de alimentación de CA para que las líneas no ocasionen un cortocircuito en las líneas de distribución.

1.7. Alcance:

Implementar un sistema de generación eólica como fuente alterna de alimentación, que nos proporcione energía eléctrica a los puntos de distribución de la garita de ingreso a la Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE Campus Belisario Quevedo. Permitiendo su funcionamiento en la hora más vulnerable del día (horas de oscuridad) o a su vez, si el medio de alimentación principal proporcionado por la empresa eléctrica ELEPCO SA falle; esta no cese sus actividades de seguridad y monitoreo del campus universitario. También que este proyecto sea un incentivo a la búsqueda e implementación de otros sistemas de generación energética amigable con el ambiente a fin de mejorar la calidad de vida de los consumidores.

Implementar un dispositivo de transferencia de energía eléctrica, que nos permita el flujo continuo de suministro energético a las cargas conectadas. Las fuentes de energía serán las provistas por el banco de baterías que serán dimensionadas para dar una autonomía de cuatro días de funciones ininterrumpidas y por parte de la red eléctrica pública quien tomará acciones mientras se recargue el banco de almacenamiento energético hasta que éste pueda retomar sus actividades.

Implementar un inversor de energía de onda pura que aporte las características de suministro necesarias para que las cargas conectadas tengan un funcionamiento óptimo en todo momento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Reseña histórica de la energía eléctrica

Todo lo que conocemos en la actualidad desde alimentos hasta infraestructura; pasa por un proceso industrial de producción para que se pueda generar la cantidad suficiente de insumos y abastecer un mercado en constante crecimiento.

Todos estos procesos requieren de una energía que dé comienzo a cada una de las etapas que intervienen en la formación de un producto. De esta necesidad aparecen los procesos de generación de energía; pero conllevó al consumo de recursos naturales y emanación de gases contaminantes al medio ambiente; las muestras más importantes de energías en la industria fue el descubrimiento de la máquina a vapor que consistía en la quema de grandes cantidades de carbón para el accionamiento de la maquinaria por medio de vapor de agua a presiones altas.

“Luego de la revolución industrial, el recurso energético que se hizo indispensable en los procesos industriales es la energía eléctrica.” (Metal Stamping Services, 2019).

La energía eléctrica es un fenómeno natural que en un principio representaba un enigma incomprensible e inexplicable; fue gracias a estudios de varios científicos alrededor del mundo que ahora podemos contar con un concepto entendible y aceptado de la energía eléctrica.

Con los aportes de destacados científicos como Stephen Gray quien en 1729 descubrió que es posible transmitir energía eléctrica a través de ciertos cuerpos mientras estos se mantenían en contacto; de este concepto surgió por primera vez la palabra “conductor” para designar “a todo cuerpo capaz de conducir fluido eléctrico.” (Historiadel.com, 2019).

De la misma manera fue Charles Coulomb utilizando una balanza sensible de torsión demostró que los cuerpos cargados eléctricamente se atraen entre si y dependen de la distancia que existe entre ellos; mostrando como se cumplía una ley análoga de gravitación de Newton.

Otro punto trascendental en la historia de la energía eléctrica fue brindado por Alessandro Volta que en 1800 descubrió lo que el llamo “órgano eléctrico artificial” objeto que consistía en capas apiladas en ordenes específicos de cobre, zinc, cartón empapado de agua salada, cobre y zinc respectivamente. Lo que dio a relucir la primera batería de la historia; cuyas propiedades en ese tipo significo la aparición de nuevas aplicaciones técnicas y científicas.

Gracias a las investigaciones de Michael Faraday se pudo determinar el comportamiento de la electricidad logrando en 1820 la construcción del primer motor eléctrico, además de su autoría las dos principales leyes del electrólisis e introdujo al vocabulario las palabras cátodo, ion y electrodo.

2.2. Energías renovables

La creciente necesidad de recursos energéticos ha dado origen a las actuales fuentes de generación de energía; paralelamente se buscan fuentes de energías renovables limpias y con recursos inagotables. De las constantes innovaciones se obtuvo lo que hoy llamamos “Energías Renovables” que son amigables con el medio ambiente; principalmente porque reducen el consumo de combustibles fósiles, lo que ayuda directamente a la disminución de emisión de gases de efecto invernadero y gases contaminantes. Además, que por la evolución tecnológica los costes de producción de energía limpia tienden a reducirse y ser más rentables, mientras que la generación eléctrica tradicional con combustibles fósiles tienden a costar mucho más que el beneficio de producción energética.

“El crecimiento de las energías limpias es imparable, como queda reflejado en las estadísticas aportadas en 2015 por la Agencia Internacional de la Energía (AIE): representan cerca de la mitad de la nueva capacidad de generación eléctrica instalada en 2014” (Acciona, s.f.).

El crecimiento poblacional también es un factor crucial para la demanda de energía ya que según los datos reflejados por la AIE ya para el 2040 habrá un aumento de un 70%; principalmente para las zonas en desarrollo como India, China, Medio Oriente, etc.

2.3. Energías verdes

Los procesos de generación eléctrica a más de servir al ser humano a facilitar sus actividades, tanto en horas luz como en horas de oscuridad y así optimizar procesos de producción, tienen efectos negativos sobre la naturaleza; que van desde alterar la geografía de las cuencas hidrográficas al instalar grandes hidroeléctricas, como la emanación de CO₂ producido en las calderas y motores de combustión interna.

En vista de esto se ve la posibilidad de optar por otras fuentes energéticas presentes en la naturaleza que produzcan iguales resultados, pero con un menor índice de daños colaterales por su funcionamiento. Con esta idea nace el concepto de energías verdes; que no es otra cosa que una producción de energía eléctrica de una fuente inagotable de energía cinética que permita ser transformada en otro tipo de energética consumible para el ser humano.

Debemos tomar en cuenta también el concepto de energías renovables, que, aunque guardan cierta cercanía no significan lo mismo.

“Solemos tender a confundir energías renovables con energía verde, y la diferencia está en que todas las energías verdes son renovables, pero no todas las energías renovables son verdes” (SotySolar, 2019).

Dentro de los procesos que pueden ser considerados energías verdes destacan la energía eólica, energía solar y energía mareomotriz.

2.3.1. Energía solar

La energía solar es el aprovechamiento de la luz del sol en plantas fotovoltaicas por medio de paneles que contienen celdas solares constituidas por silicio cristalino; que por sus características transforman la luz solar en electricidad debido al efecto fotoeléctrico. O a su vez existen plantas termoeléctricas, que aprovechan la radiación para elevar la temperatura de un líquido que puede ser agua u otro líquido de bajo punto de ebullición y produciendo vapor que activara una turbina generando electricidad.



Figura 1. Energía fotovoltaica

Fuente: ecofener.com

La generación de electricidad con este método no solo representa una ayuda al medio ambiente, sino que también es una alternativa para las empresas y hogares donde su consumo de energía eléctrica es elevado y se ve reflejado en su planilla de consumo eléctrico.

En el Ecuador “La Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) aprobó a fines de octubre una regulación que permite viabilizar la utilización de la radiación solar para autoabastecimiento” (El Telégrafo, s.f.).

Las micro centrales fotovoltaicas tendrían una capacidad máxima de 500KW además de su debida justificación para ser instaladas, siendo los principales sectores interesados en éstos sistemas plantas industriales y hogares que sobrepasen el consumo de 2000KW.

La iniciativa para el cambio de la matriz productiva energética a pesar de tener una buena dirección requiere de varios estudios técnicos de viabilidad tanto en calidad de producción y lo principal “costo-beneficio” de la implementación de esta tecnología que actualmente; no es barata; por su vida útil, costo de mantenimiento y repuestos. Además de que para el sector industria 500KW de potencia es insuficiente para justificar una inversión de este tipo.

2.3.2. Energía mareomotriz

“La energía mareomotriz se produce gracias al movimiento generado por las mareas, esta energía es aprovechada por turbinas, las cuales a su vez mueven la mecánica de un alternador que genera energía eléctrica ,finalmente este último está conectado con

una central en tierra que distribuye la energía a la comunidad y las industrias.” (Mercados Eléctricos - IEE3372, s.f.).

Dentro de este modelo de generación el factor que provoca la variación de mareas es el efecto de atracción que existe entre la luna y la tierra; la explicación es muy simple, dado que los cuerpos ejercen una fuerza de atracción entre sí; de manera que por la naturaleza sólida de los continentes estos no sufren cambios representativos. No obstante, este efecto de atracción si se muestra en los ríos, lagos y océanos de manera que mientras más cercanía exista entre la luna y la tierra mayores serán las corrientes de las aguas.

Por este motivo y los estudios de mareas ya existentes es una manera muy eficiente de generar energía eléctrica amigable con el medio ambiente ya que no consume combustibles fósiles y funciona de manera similar a los generadores eólicos, pero con la diferencia que extrae la energía cinética del movimiento de las corrientes de agua.

Hay dos principales métodos para el uso de esta tecnología:

Generador de corriente de marea: consiste en torres con álabes que aprovechan energía cinética de las mareas, para dar movimiento mecánico a rotores e iniciar el proceso de generación eléctrica. Es un sistema eficiente y económico que brinda mayores facilidades de implementación a comparación con la presa de marea.

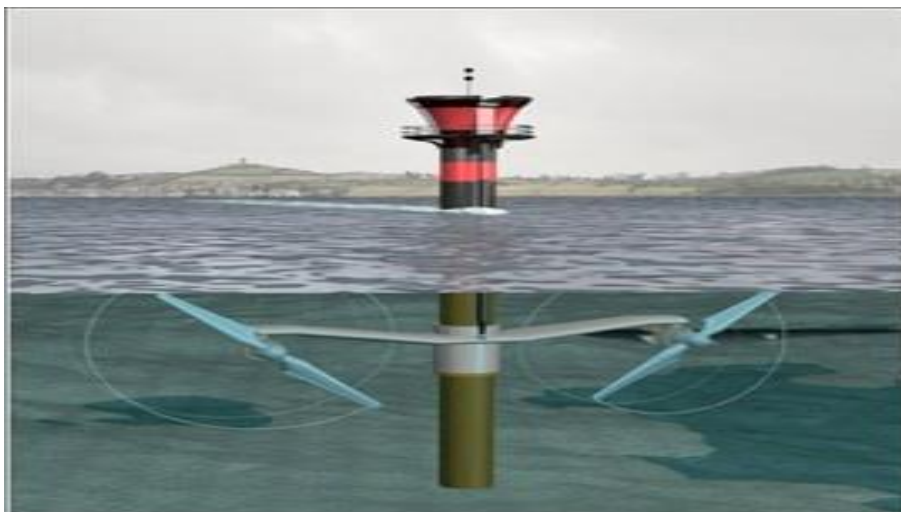


Figura 2. Generador mareomotriz de corriente de marea

Fuente: Microsiervos

Presa de marea: consiste en un dique que atraviesa un paso de agua y realiza el movimiento de sus palas gracias a la energía potencial existente en las diferencias de altura de las mareas altas y bajas respectivamente; el principal enemigo de estos equipos es el alto coste de instalación de su infraestructura y la falta de sitios que brinden todas las características para su correcto funcionamiento.



Figura 3. Generador mareomotriz de presa de marea

Fuente: (Mareas, s.f.)

Un ejemplo puntual de este tipo de tecnología es la aun activa planta mareomotriz Rance Tidal; lleva activa desde 1966 localizada en el rio Rance de Gran Bretaña proveyendo de energía a un aproximado de 130000 usuarios por año.

“La instalación cuenta con una presa y un dique, abarcando una superficie de más de 22 kilómetros cuadrados. Además, tiene instaladas 24 turbinas de 10MW de potencia nominal cada una.” (Structuralia, s.f.)

2.3.3. Energía eólica

“La energía eólica es la energía que se obtiene del viento. Se trata de un tipo de energía cinética producida por el efecto de las corrientes de aire.” (Factorenergia, s.f.)

La energía eólica es una de las energías más antiguas conocidas por el hombre, las teníamos presente en los molinos de viento usados para moler granos y también en la fuerza para impulsar grandes navíos marítimos de velas; una de las referencias más notables se encuentra en el libro “El Quijote de la Mancha” de Miguel de Cervantes cuando Don Quijote confundió a molinos de viento con monstruos gigantes que amenazaban a los campesinos.



Figura 4. Proceso de generación eólica

Fuente: Hunabsys Blog

2.4. El viento

“Los vientos se originan como consecuencia de las diferencias en la presión atmosférica y estas diferencias se producen por las distintas temperaturas en el aire. El aire frío tiende a desplazarse hacia abajo, mientras que el aire caliente se desplaza hacia arriba.” (Vix, s.f.)

Las zonas conocidas como áreas ciclónicas y anticiclónicas ocupan grandes sectores comprendidos por miles de kilómetros cuadrados en donde se da el proceso de producción de corrientes de aire (viento); este proceso consiste en el movimiento de masas de aire caliente que tienden a subir pasando a ocupar el espacio del aire frío.

El aire sube de temperatura por efecto de la radiación solar que calienta la superficie terrestre, este fenómeno es diferente en cada sector del planeta ya que intervienen factores como su localización, zonas costeras y zonas más alejadas del ecuador.

“Las regiones alrededor del ecuador reciben más radiación solar que el resto de las regiones del planeta. Esta diferencia en la radiación recibida, se traduce en una diferencia de temperatura entre las latitudes más altas y las más bajas.” (Taller Virtual de Meteorología y Clima., s.f.)

De esta manera es que los vientos se mueven a las capas bajas ubicadas al norte del ecuador y de la misma manera al sur a las capas altas. El choque de estas corrientes da lugar a tormentas y borrascas que tienen el objetivo de suavizar las diferencias de temperatura entre latitudes altas y bajas respectivamente.

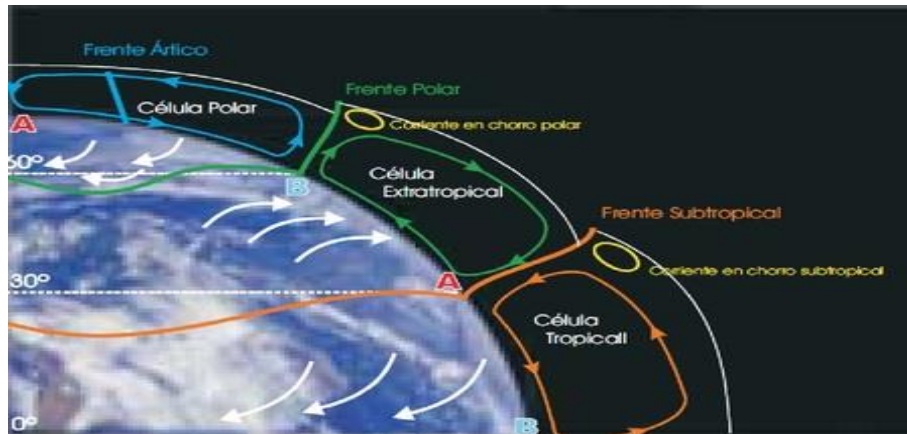


Figura 5. Formación de corrientes eólicas

Fuente: Taller Virtual de Meteorología y Clima.

2.4.1. Vientos de superficie

Existen grandes cantidades de viento circulante de gran velocidad a elevadas alturas sobre la superficie de la tierra, a mil metros y superiores; esto se debe a que a esa altura las corrientes de aire no encuentran obstáculos que resten su velocidad y su libertad de movimiento. Por lo que se puede considerar que la velocidad del viento es directamente proporcional a la altura donde se origine; mientras la altura aumente también la velocidad del viento lo hará.

Sin embargo, ya en las zonas más bajas de la atmósfera estas velocidades encuentran mucha resistencia provocada por los accidentes geográficos, construcciones, bosques y todo objeto que se pueda interponer a la dirección en la que se mueve el viento.

La principal causa del decaimiento de la velocidad del viento es la presencia de montañas que cortan la sección de masa de viento, pero aumenta la velocidad del mismo, de manera contraproducente crea una mayor sección a continuación mayor a la anterior, pero con una velocidad menor.

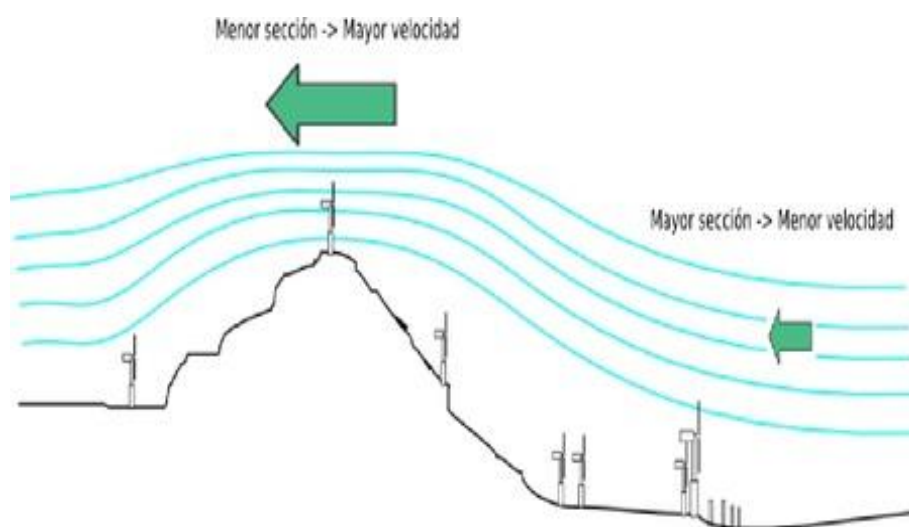


Figura 6. Vientos de superficie

Fuente: Taller Virtual de Meteorología y Clima.

2.5. Historia de la energía eólica

“La energía eólica es una de las formas de energía más antiguas usadas por la humanidad. Hay que retroceder hasta el año 3000 a.C. para encontrar el primer uso generalizado del viento como fuente de energía. Fue en los primeros barcos veleros en el antiguo Egipto.” (Ekidom, s.f.)



Figura 7. Embarcaciones en el antiguo Egipto

Fuente: (Historiae, s.f.)

La verdadera historia de la energía eólica como fuente de electricidad tuvo sus inicios gracias a las ideas innovadoras de Lord Kelvin en 1802 a quien se le ocurrió accionar un generador eléctrico con una máquina que aproveche el movimiento del viento; esta idea solo pudo ser concretada gracias a Michael Faraday que entre 1831 y 1832 logro diseñar el primer generador electromagnético al que se lo denominaría “dinamo”.

Desde ese acontecimiento las continuas investigaciones alcanzaron el éxito con Charles Brush que; en 1888 creó la primera turbina eólica capaz de generar electricidad.

Los pioneros en la aplicación de esta tecnología fueron Europa y Estados Unidos; pero fue hasta la década de los 80 cuando por causas de la crisis del petróleo se dio hincapié en la búsqueda de nuevas alternativas a la obtención de energía; se creó de manera

comercial aerogeneradores con 55kW de capacidad, esto también en respuesta a los movimientos en contra de la energía nuclear.

Las plantas destinadas al aprovechamiento del movimiento del viento se las conocen con el nombre de “Parque Eólico”; que no es más que un conjunto de generadores eólicos estratégicamente ubicados y diseñados para recopilar toda la energía cinética posible del aire y transformarla en electricidad para posteriormente insertarla a la red pública.

“Towards 2000 fue el primer parque eólico construido y que fue el nacimiento de las energías renovables allá por el año 1981”. (Renovables Verdes, s.f.)

Con los 7500 KW generados este parque eólico fue el pionero en el proceso de cambio para una energía más limpia y amigable con el medio ambiente.

El parque eólico a diferencia de los actuales constaba de tres torres en forma de tubo de acero y un par de álabes gigantes que serían las encargadas de aprovechar la energía cinética del viento.



Figura 8. Parque eólico Towards 2000

Fuente: RenovablesVerdes

2.5.1. Principales parques eólicos a nivel mundial

a. Complejo eólico Gansu 7.965 MW. Gansu (CHINA)

Este complejo eólico es considerado el más grande del mundo y consta de una red de 100 parques eólicos con una capacidad de generación proyectada de 20000 MW.

Su funcionamiento inicio en el 2009 con un inicial de 18 parques de 200 MW cada uno y otros 2 parques de 100 MW. Se prevé que cuando Gansu este al total de su capacidad con el funcionamiento de sus 2700 turbinas logre un total de producción eléctrica que supere dos veces a toda la energía eólica generada en América Latina.

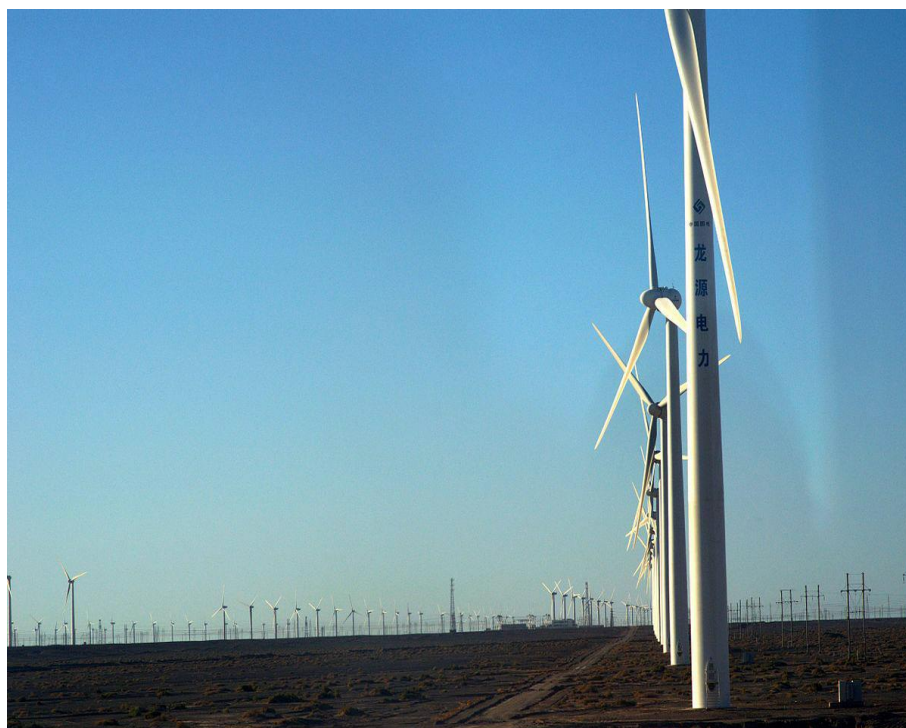


Figura 9. Complejo eólico Gansu. 7.965 MW. Gansu (China)

Fuente: Periódico de Energía

b. Centro de energía eólica Alta 1.547MW California (EEUU)

Más conocido como el parque eólico Mojave cuenta con un total de 11 unidades operativas sumando 586 turbinas activas. Inició sus actividades en el 2011 inicialmente con cinco unidades de generación y paulatinamente implementando el resto a partir del año 2013 con equipos de turbinas Vestas V90-3.0MW y GE 2.85-MW de General Electric produciendo un total de 1547MW de potencia.



Figura 10. Centro de energía eólica Alta 1.547MW California (EEUU)

Fuente: (123RF, s.f.)

c. Parque eólico de Muppandal 1500MW. Tamil Nadu (India)

Muppandal es un pueblo que goza de una ubicación privilegiada porque su posición geográfica y su orografía permiten que las ráfagas de viento provenientes del Mar Arábigo provean de excelentes fuentes estacionarias de viento.

El parque eólico dispone de una potencia instalada de 1500MW con una proyección estimada de 26200MWh para el año 2020; como dato curioso la comunidad de Muppandal era un pueblo empobrecido hasta que por medio de la construcción del parque eólico se pudo disponer de energía eléctrica para sus habitantes y las empresas locales. La inversión inicial para su construcción fue de 2000 millones de dólares, provistos por empresas extranjeras dentro de un programa de incentivos fiscales.



Figura 11. Parque eólico de Muppandal 1500 MW. Tamil Nadu (India)

Fuente: Periódico de Energía

2.5.2. Proyectos eólicos en Ecuador

En nuestro país la idea de cambiar la matriz productiva energética es un proyecto que se viene ya trabajando desde el año 2007; la implementación de parques eólicos con inversión extranjera y local se hace realidad con la inauguración del primer parque eólico

en la isla San Cristóbal con una capacidad de producción de 3,2 GW, reduciendo significativamente el consumo de combustible fósil de las centrales termoeléctricas existentes hasta aquel entonces y así también la emanación de gases contaminantes a la atmosfera.

“El proyecto eólico fue financiado en un 80% por organismos internacionales, el G8 y el programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP), y en un 20% por Elecgalapagos y el municipio de San Cristóbal.” (Reve, s.f.)

Otro parque eólico emblema de la producción de energía verde es el denominado Baltra con 2.25 MW de potencia ubicado en la isla del mismo nombre, este parque está conformado por tres aerogeneradores de 750 KW y dispuesta plenamente para abastecer las necesidades energéticas de la isla de Baltra, Santa Cruz y Puerto Ayora. La proyección de estas construcciones es tener un sistema interconectado entre la subestación eléctrica Baltra y la subestación eléctrica de Puerto Ayora.

“Adicionalmente se construirá una línea de transmisión de 50 km a 34,5 KV, que ha sido diseñada con el objetivo de minimizar en su totalidad el impacto ambiental de este tipo de construcciones es así que esta línea contempla tramos aéreos, soterrados, subterráneos y marítimos.” (ELECGALAPAGOS, s.f.)

Actualmente la energía eólica se considera un proyecto viable para la producción de energía eléctrica; por lo que tenemos el parque eólico Villonaco en la provincia de Loja, que según informes en el año 2015 fue considerado el parque eólico más eficiente y productivo a nivel mundial ya que tuvo un registro de producción de 5604 horas al año.

“Esto permitió que la central supere los niveles de generación garantiza anual de 59.57 GWh/año a 90.92 GWh/año, lo que significa que generó el 52% más de lo previsto en los estudios de factibilidad.” (Celec Ep, s.f.)

Bajo estos precedentes de eficiencia y productividad del recurso eólico presente en el Ecuador; Termopichincha en conjunto con el INER (Instituto Nacional de Energías Renovables) inicio en el 2016 una campaña de medición eólica en distintas zonas de la sierra; es conocido que en las planicies corren vientos de superficie muy rápidos y mucho más estables que en las zonas altas de páramo que podrían permitir aprovechar las masas de aire para su procesamiento y transformación.

Los puntos estratégicos para el proceso de medición fueron la parroquia Olmedo y Cangahua del cantón Cayambe provincia de Pichincha, parroquia Tixán del cantón Alausí provincia de Chimborazo y la parroquia Poaló del cantón Latacunga provincia de Cotopaxi.

“En el mes de abril del 2015, como parte de los compromisos asumidos por CELEC EP Termopichincha y el Instituto de Eficiencia Energética y Energías Renovables, INER, inicio el “Estudio para determinar y priorizar sitios con alto potencial eólico en el Ecuador”.” (CELEC EP, 2016)

Turbina eólica

“Una turbina eólica es un dispositivo mecánico que convierte la energía del viento en electricidad.” (Textos Cientificos.com, s.f.)

El funcionamiento de una turbina eólica resulta muy simple si lo explicamos en sencillos procedimientos. El movimiento de las masas de aire alberga energía cinética capaz de hacer girar los álabes de la turbina convirtiendo su efecto cinético en mecánico, ya a partir de los generadores de la turbina la energía mecánica se transforma en electricidad.

Las componentes principales de la turbina eólica son: paletas, engranajes, freno, generador y torre.

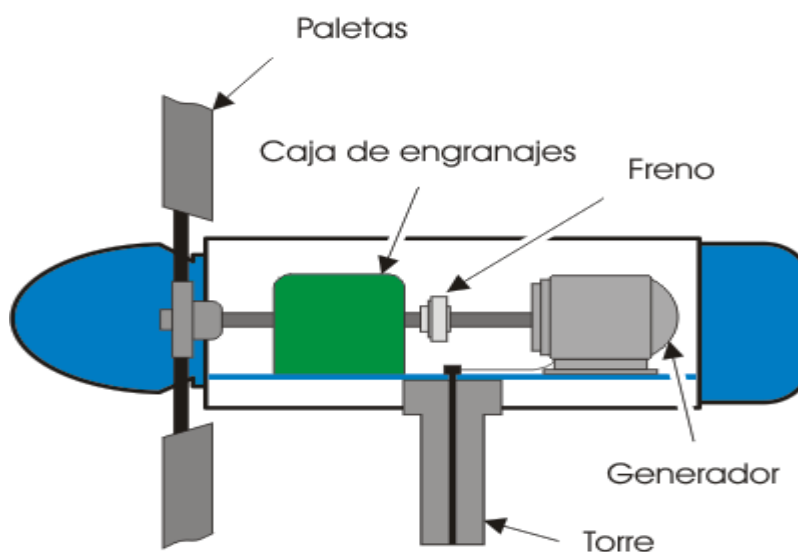


Figura 12. Partes de turbina eólica

Fuente: Textos Científicos

Son los elementos que permiten el giro del rotor gracias a la fuerza ejercida por el viento y están dispuestas según el diseño de la turbina.

Conjuntamente con la veleta que es un aparato que permite distinguir la dirección del viento y ayudar a posicionar los álabes de manera que mejore el aprovechamiento del viento circulante.

La teoría dicta que mientras mayor sea el número de álabes; más fácil se tornará el giro de las mismas pues suman torque al eje del rotor. No obstante, dependiendo de la configuración de la turbina, si es de uso industrial esta teoría solamente genera mayores costos de producción en relación al costo de beneficio en generación, por esta razón se ha tomado un estándar de tres álabes por turbina de generación industrial por la mejor eficiencia presentada en relación costo-beneficio.

El mayor número de álabes se lo puede tomar en cuenta en turbinas caseras que pueden generar desde 180W hasta 500W. Por obvias razones el largo de los mismos se reduce para compensar la fuerza de giro con la potencia de los frenos de la turbina evitando que el generador se embale y ocasione daños al sistema de generación.



Figura 13. Tipos de álabes

Fuente: Block eólicos

Para aumentar la eficiencia de la turbina existen engranes diseñados para incrementar la frecuencia de producción eléctrica; elevando el número de vueltas en el rotor en base al número vueltas que dan las paletas de la turbina.

El multiplicador es la parte de la turbina encargada de convertir las bajas revoluciones por minuto que transmite el buje, en altas revoluciones por minuto, necesarias para el generador puede producir electricidad. De esta manera la configuración de este sistema permite una entrada de entre 15-25 rpm para llegar a una salida de entre 1200-1800 rpm; en el mejor de los casos.

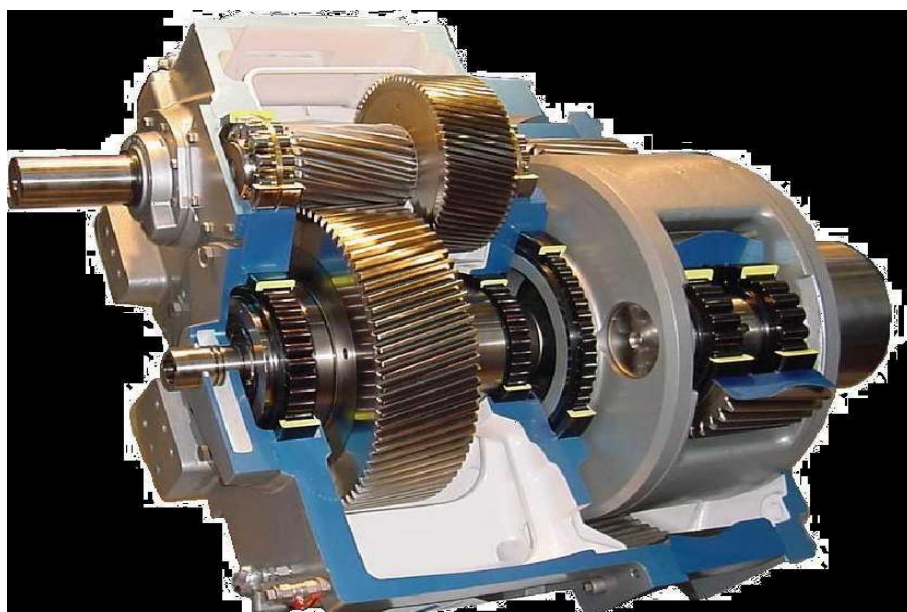


Figura 14. Caja multiplicadora

Fuente: Opex energy

2.5.3. Generador

El generador es un elemento que convierte la energía mecánica producida por el rotor en energía eléctrica, estos generadores dependen mucho de la velocidad del viento con el que es accionado; por razones más que obvias el movimiento de los álabes no es constante, las ráfagas de viento pueden proporcionar desde el mínimo de energía de generación como a su vez sobrepasar la velocidad máxima de diseño, lo que para conservación del equipo se accionaría automáticamente el freno. Por estas situaciones se necesita un conjunto de baterías acumuladoras de soporte; para el funcionamiento permanente del controlador e inversor de voltaje.

Dependiendo del diseño del generador este puede ser síncrono o asíncrono de rotor bobinado; el generador del sistema EXMORK para aplicaciones domésticas nos permite su activación en función de la velocidad del viento existente que puede empezar con los 2,5 m/s mínimo y 14,5 m/s máximo antes de que el freno se active.

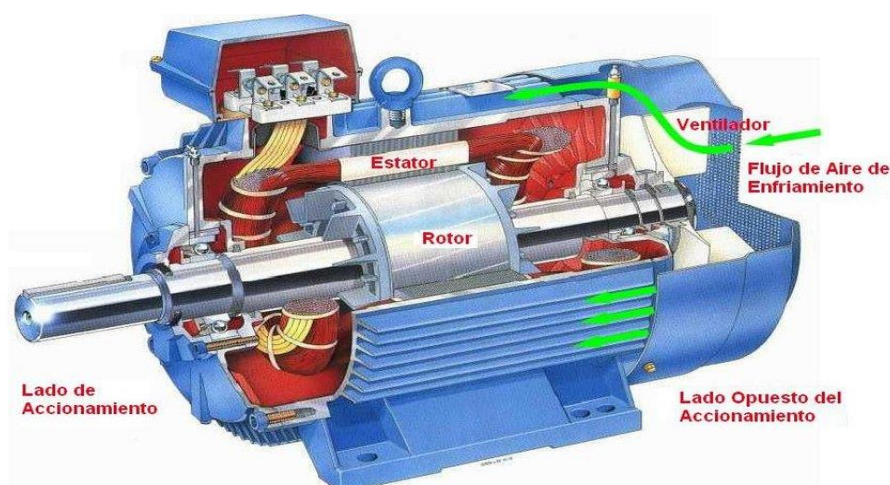


Figura 15. Generador eólico

Fuente: Research gate

2.5.4. Freno

Es una de las partes más importantes de la turbina ya que nos permite detener el giro de las palas cuando los vientos que las accionan exceden la velocidad máxima de funcionamiento. Esto a su vez permite garantizar la integridad del generador y evitar que se embale.

Este es el sistema de seguridad principal para la turbina que, funciona automáticamente cuando las ráfagas de viento superan los 14,5 m/s, lo que por la velocidad generarían un exceso de fuerza centrífuga en los álabes ocasionando que estos se rompan. Este sistema de frenado tiene dos maneras de accionarse; la primera es automáticamente cuando todas las conexiones estén debidamente instaladas y en funcionamiento, la segunda opción es cortocircuitar dos de las líneas principales que salen del generador hacia los equipos reguladores; para esto tenemos un interruptor independiente en el controlador de voltaje.

2.5.5. Torre

Es la estructura vertical donde ira aposentada la turbina, y brindara la altura necesaria facilitando una mejor acogida de vientos para su accionamiento. Es importante darle las características necesarias de construcción, permitiendo el acceso a la turbina que facilite su mantenimiento sin conllevar gastos innecesarios.

Por recomendaciones del fabricante se debe tener un mínimo de 10m de altura y estar ubicada en un área libre de obstáculos terrestres que puedan restar la velocidad del viento.

Su estructura puede ser diversa desde postes de concreto hasta postes metálicos, por efecto de rotación de los álabes causado por fuertes ráfagas se notarán vibraciones en todo el largo de la torre que deben ser compensadas con cables tensores que permitan su estabilidad al momento de ser accionada la turbina.

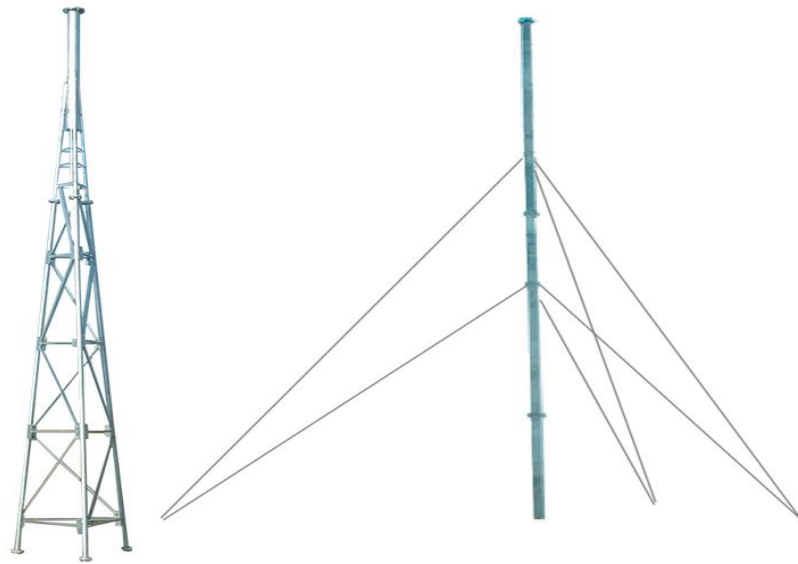


Figura 16. Torre eólica

Fuente: Sol Enersa

2.5.6. Tipos de turbinas eólicas

Las turbinas eólicas se clasifican según el flujo de aire que circula por las palas y según la orientación del eje de giro de las mismas.

Según el flujo de aire pueden ser de sustentación; es decir que permiten el giro de las palas en las dos direcciones según la dirección del viento. Y de arrastre; se refiere a que el viento circula por una sola cara de las palas.

Según la orientación del eje de giro de las palas pueden ser horizontales con respecto al suelo. Este tipo de configuración ha ganado gran popularidad debido a su índice de eficiencia y su facilidad de seguimiento de la dirección del flujo de viento.

Existen turbinas horizontales que, por su tamaño, son frecuentes en los parques eólicos de generación industrial; requieren de un sistema de giro a base de servomotores, mismos que son responsables de posicionar el frente de las hélices de manera que permita un mejor aprovechamiento del flujo de aire circundante.

El número de álabes utilizado para estos equipos es de tres, por varias razones en las que podemos detallar principalmente el factor costo-beneficio de su construcción. La construcción de un álabe es muy costosa por los materiales que se necesitan para fabricarlas, de manera que aumentar un álabe al diseño solo aumentaría el valor de inversión para su instalación.

Así también su funcionamiento a bajas velocidades se puede compensar con la caja de engranes que permite aumentar la frecuencia de giro del rotor, aumentando la potencia de generación. Otro factor importante es que al reducir el número de álabes se produce una mayor velocidad de giro que podría embalar al rotor y en el peor de los casos romper los componentes de generador.

Por el contrario, para los generadores más pequeños el sistema de orientación es más sencillo y constan de un eje giratorio perpendicular al rotor y una veleta que permite que su posicionamiento sea dependiente directo de la dirección del viento y pueda aprovechar el paso del mismo para su posición y funcionamiento.



Figura 17. Aero generador horizontal

Fuente: Catálogo Ali

A su vez en las turbinas de eje horizontal; que son de un uso común para la conformación de un parque eólico, su instalación dependerá del tipo de viento que circula en el sector de funcionamiento. De manera que si no existen gran afluencia de corrientes de aire es mucho más factible y beneficioso instalar turbinas pequeñas que tenga un mayor tiempo de funcionamiento, en lugar de una de gran tamaño, pero con dificultad para generar electricidad.

Dicho esto, debemos saber que mientras mayor sea el área de barrido de las palas de la turbina mayor será la potencia producida por el sistema de generación, lo que también conlleva a un mayor peso de los álabes de turbina y el requerimiento de altas velocidades de viento será implícito.

Un punto importante de un sistema eólico es que en las mejores condiciones de funcionamiento solo se podrá alcanzar un máximo del 50% de rendimiento, ya sean por pérdidas producidas rozamiento, calor, flujo esporádico de viento, etc.

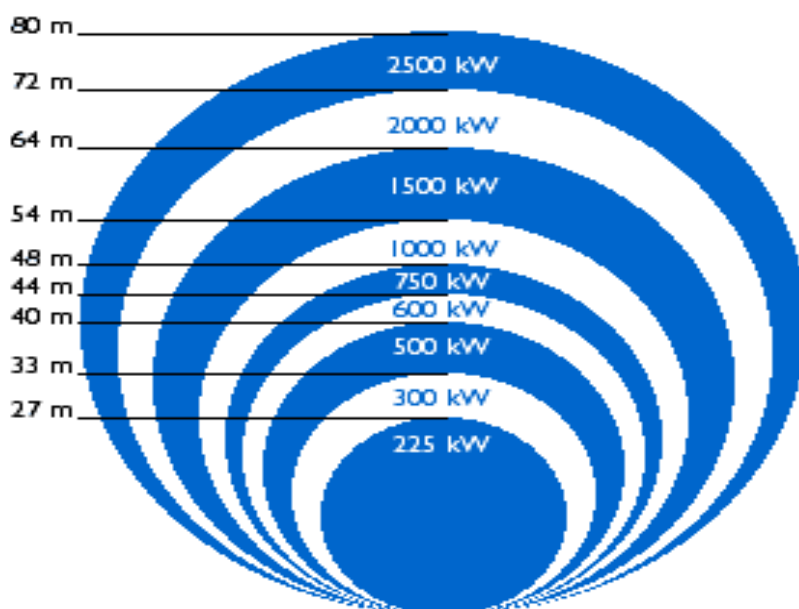


Figura 18. Potencia producida en función del largo del álabe

Fuente: Miller wind power

Otra opción de generador eólico es el de eje vertical con respecto al suelo, que a pesar de brindar un fácil acceso para mantenimiento por no necesitar torres de instalación tienen un índice de rendimiento menor; por no tener acceso a buenas corrientes de aire y la necesidad de utilizar conexión a la red de alimentación para su arranque.



Figura 19. Aero generador vertical

Fuente: Ignacio Martil

2.6. Conocimientos teóricos básicos para un sistema eólico

2.6.1. Rosa de los vientos

La rosa de los vientos es un instrumento gráfico que nos permite designar la dirección por donde circula el viento. Permite dividir al horizonte en partes iguales; las primeras cuatro que son: norte, sur, este y oeste con una separación de 90° una de la otra. A su vez derivadas a estos rumbos se dividen en rumbos laterales: noreste, sureste, noroeste y suroeste. Por último, de esta división se obtienen los rumbos colaterales: norte-noreste, este-noreste, este-sureste, sur-sureste, oeste-sureste, oeste-noroeste y norte-noroeste.

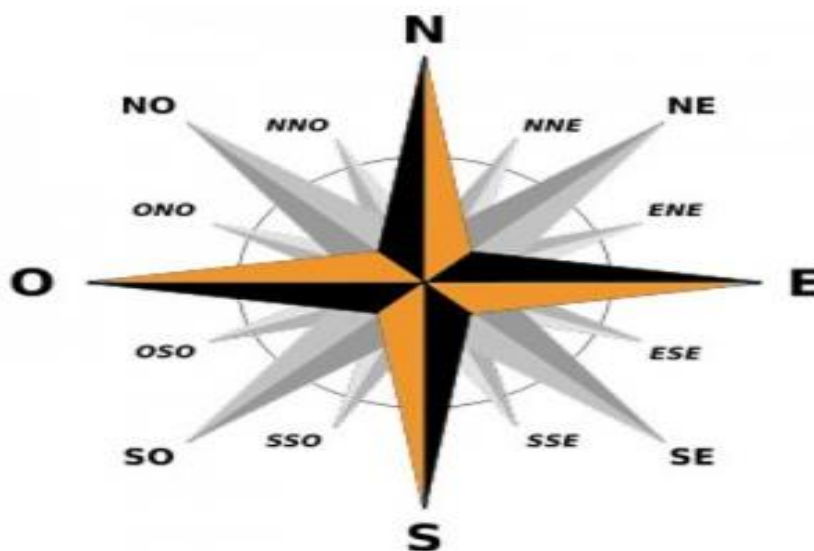


Figura 20. Rosa de los vientos

Fuente: Nauticagenova

Con este instrumento se puede identificar la dirección de los vientos para posicionar el frente de la turbina eólica, en el caso de ser una de gran potencia. En nuestro caso particular constamos con un aerogenerador Exmork W500 con veleta de dirección.

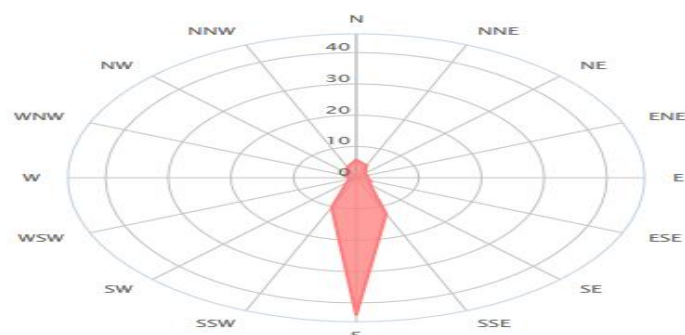


Figura 21. Dirección del viento en Latacunga

Fuente: (Factorenergia, s.f.)

2.6.2. Velocidad del viento

Un dato básico que se debe tomar mucho antes de elegir un equipo de generación eólica es la velocidad y la afluencia del viento en el sector donde será instalada la turbina. La velocidad del viento viene expresada en unidades de metros por segundo (m/s), nudos (kts), millas por hora (mph), etc., evidencia principal que nos ayudara a dar el elemento necesario para que el proyecto eólico funcione.

Tabla 1.

Promedio de velocidad de viento anual en Latacunga 11/2012-06/2019

<i>Promedio de velocidad de viento anual en Latacunga</i>				
<i>2019</i>				
Mes	Porcentaje	kts	m/s	km/h
Ene	30%	8	4,08	14,688
Feb	27%	8	4,08	14,688
Mar	21%	7	3,57	12,852
Abr	25%	7	3,57	12,852
May	25%	8	4,08	14,688
Jun	45%	10	5,1	18,36
Jul	48%	11	5,61	20,196
Ago	47%	10	5,1	18,36
Sep	40%	9	4,59	16,524
Oct	25%	7	3,57	12,852

CONTINÚA 

Nov	19%	7	3,57	12,852
Dic	31%	8	4,08	14,688
Año	31%	8	4,08	14,688

Fuente: Estación meteorológica aeropuerto Cotopaxi

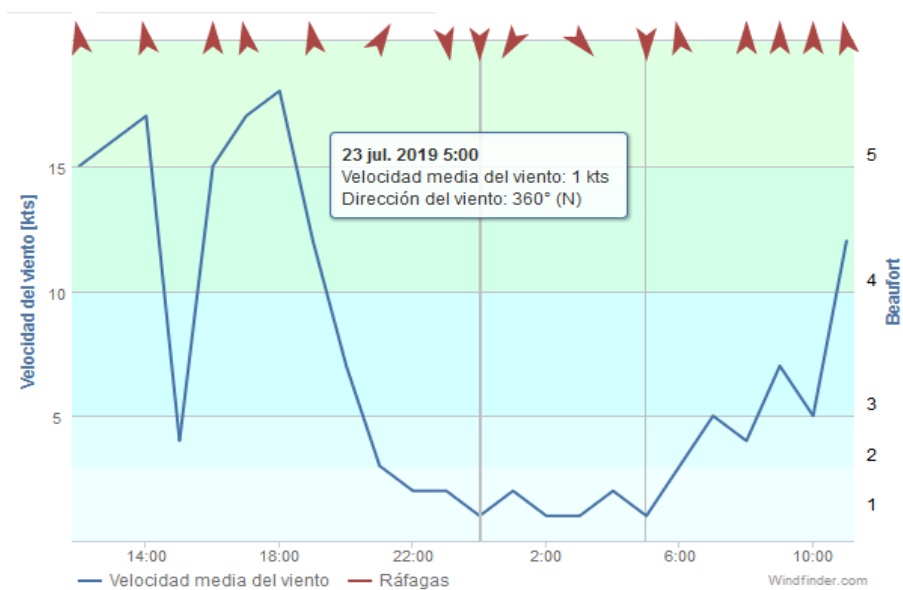


Figura 22. Observación del viento a la fecha 23/07/2019

Fuente: Estación meteorológica aeropuerto Cotopaxi

2.6.3. Potencia del viento

“La cantidad de energía en el viento se puede expresar como una relación matemática entre la velocidad y la masa” (Harper, 2012)

La masa de una sustancia al moverse posee energía cinética que puede ser aprovechada para otros usos, en nuestro caso aprovecharla para transformarla en electricidad.

$$m = \rho * (A * v * t)$$

Ecuación 1. (Harper, 2012)

Dónde: m = Masa del aire

ρ = Densidad del aire

A = Área de barrido del rotor

v = Velocidad del aire

t = tiempo

Ahora bien, ya conocido el valor de la masa del aire podemos representar los valores necesarios para obtener el valor de la energía cinética inmersa en el flujo de aire que accionará la turbina eólica. La unidad de medida de esta energía viene dada en Joules lo que posteriormente nos ayudará a obtener la potencia que nos estará brindando el sistema de generación.

$$Ec = \frac{1}{2} m * v^2$$

Ecuación 2. (Harper, 2012)

Dónde: E_c = Energía generada

m = masa

v = velocidad de viento

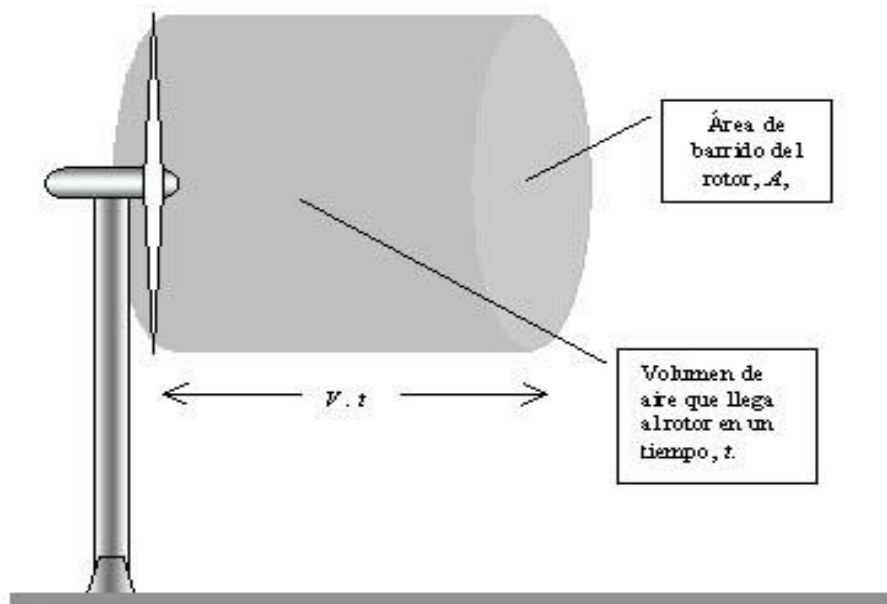


Figura 23. Cálculo de potencia del viento

Fuente: (Thales, s.f.)

En condiciones ideales o constantes tendremos en cuenta que la energía cinética del viento depende directamente de la velocidad que sus ráfagas posean al momento de accionar los álabes de la turbina; tomando en cuenta los datos de viento presentados en la **Tabla 1** podríamos dar valores referenciales de generación.

$$m = \rho * (A * v * t) \text{ Ecu 1.}$$

$$Ec = \frac{1}{2} m * v^2 \text{ Ecu 2.}$$

Ecuación 2. en 1.

$$Ec = \frac{1}{2} \rho * A * t * v^3$$

$$Ec = \frac{1}{2} 1,225kg/m^3 * 4,90m^2 * 1s * (4,08m/s)^3$$

$$Ec = 204,20 \text{ J}$$

2.7. Registro de equipos de comunicación y monitoreo de seguridad en la garita de vigilancia

El equipo de vigilancia que emplea el personal de seguridad acantonada en la garita de acceso principal a la Universidad de la FF.AA. Campus Rodríguez Lara; está conformada por un sistema de comunicación, por un juego de radios que incluye repetidoras móviles de marca Vertex Standard, provistas de líneas seguras que permite diálogos en tiempo real con todo el personal de seguridad civil y militar dentro del campus además con la central de operaciones de la empresa privada.

Se encuentra instalado un teléfono fijo Cisco 6921 que permite el enlace con todas las dependencias de la Universidad de las FF.AA. a nivel Sierra y de manera complementaria un computador de escritorio con enlace vía internet.

De esta manera toda la institución universitaria puede dar parte de cualquier novedad suscitada dentro de las instalaciones además de hacer requerimientos administrativos dentro del mismo nivel o superiores.

2.7.1. Cálculos de demanda de energía de los equipos de monitoreo

Tabla 2.

Estudio de carga del sistema de comunicación

<i>Equipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Potencia</i>	<i>Consumo total</i>
Radio Vertex	2	60W	120W
Teléfono cisco	1	18W	18W
Pc de escritorio	1	200W	200W
	<i>Total</i>	278W	338W

2.7.2. Cálculo del banco de almacenamiento de energía

El total de potencia demandada por los equipos de monitores buscamos el tiempo de autonomía que deseamos brindar a los aparatos electrónicos que alimentaremos; para nuestro caso apuntaremos a dar una independencia de la red pública de cuatro días.

$$Ct = \frac{N * Ed}{Nb * Ni * Vnb * pfd}$$

Ecu 3. (personales)

Donde:

Ct = Capacidad de la batería

N = Número de días de autonomía

Ed = Energía demandada

Nb = Eficiencia de batería

Ni = Rendimiento eficiencia a la inversa

Vnd = Voltaje nominal de la batería

Pfd = Promedio de descarga de la batería

$$Ct = \frac{1 * (338 * 4)}{0.8 * 0.8 * 24[V] * 0.75}$$

$$Ct = 117.36 \text{ Ah}$$

De acuerdo a la Ecu 2.3 se requiere un banco de almacenamiento compuesto de dos baterías de 100Ah a 12V para alimentar los equipos de comunicación que comprenden las radios Vertex Standard y un computador de escritorio.

CAPÍTULO III

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

3.1. Localización del proyecto a implementar

Se tiene previsto la implementación de los equipos y recolección de datos en las inmediaciones de la Universidad de FF.AA. Campus Guillermo Rodríguez Lara; ubicada en la parroquia Belisario Quevedo.

Coordenadas geográficas:

- Altitud 2735 msnm
- Latitud -0.966667
- Longitud -78.5667

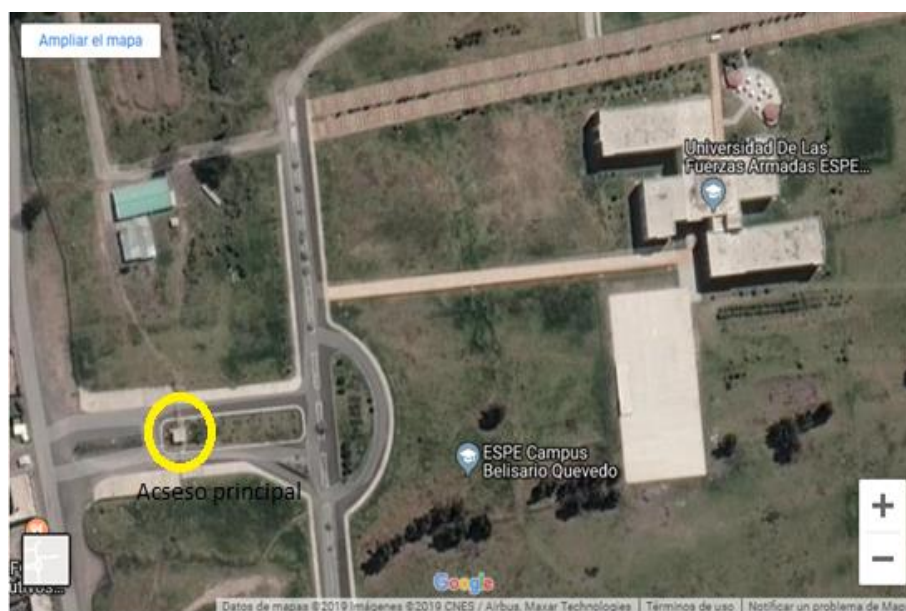


Figura 24. Situación geográfica de la Universidad de FF.AA. ESPE

Fuente: (Eart, s.f.)

3.2. Aspectos a tomar para la selección de una turbina eólica

Un generador eólico es básicamente un aparato que aprovecha la energía cinética del viento y lo transforma en energía eléctrica.

Para la selección de un sistema de generación eólico primeramente de debe tener en cuenta la potencia que se quiera obtener, un estudio previo de la afluencia de vientos que se sitúan en el sector donde se instalará la turbina y las horas que se requiere independencia de la red eléctrica convencional.

Un estudio de carga debe realizarse para partir de la cantidad de energía requerida en el sistema, en la selección del sistema de turbinas; en la actualidad tenemos varios proveedores con distintos modelos de equipos eólicos que podrían ajustarse a nuestra necesidad y economía.

Tabla 3.

Registro de viento en la comunidad Belisario Quevedo

DATE	TIME	WIND SPEED	WIND DIR
15/5/2019	9:30	0.0	----
15/5/2019	10:00	3.6	SSE
15/5/2019	10:30	2.7	S
15/5/2019	11:00	4.5	SSW
15/5/2019	11:30	4.5	S
15/5/2019	12:00	3.6	S
15/5/2019	12:30	4.5	SSW
15/5/2019	13:00	2.2	S
15/5/2019	13:30	3.6	SSW
15/5/2019	14:00	4.9	SSW
15/5/2019	14:30	4.0	SSW
15/5/2019	15:00	4.0	S

CONTINÚA 

15/5/2019	15:30	3.6	SWW
15/5/2019	16:00	5.4	S
15/5/2019	16:30	3.1	SSW
15/5/2019	17:00	2.7	S
15/5/2019	17:30	2.7	SSE
15/5/2019	18:00	2.2	SSE
15/5/2019	18:30	1.8	S

Fuente: Estación meteorológica Departamento de Energías Renovables ESPE

Para este proyecto se cuenta con los estudios de viento propinados por la estación meteorológica del aeropuerto de Cotopaxi; que propina datos las 24 horas del día y son de dominio público, además la Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE-L cuenta con otra estación meteorológica; propia como parte del Departamento de Energías Renovables.

Esta información resulta de suma importancia para la implementación de cualquier equipo eólico ya que la principal fuente de energía es precisamente el viento. A partir de estos datos podremos identificar el modelo de turbina que más se ajuste a nuestros recursos.

Al realizar un seguimiento de los datos de viento y ráfagas se pudo obtener una media aritmética que nos justificó la implementación de nuestro sistema de generación. (Ver **Tabla 1)**

De manera que la turbina Exmork ZH500W, resulta la mejor opción a implementarse; ya que por sus características de funcionamiento nos permite un arranque de generación con una velocidad mínima de 2,5m/s. Posee un sistema de freno de protección que se

activa a una velocidad de 11m/s resguardando la integridad de los álabes y el rotor. Además, que su carcasa es de acero que le da robustez y durabilidad antes las inclemencias del clima.

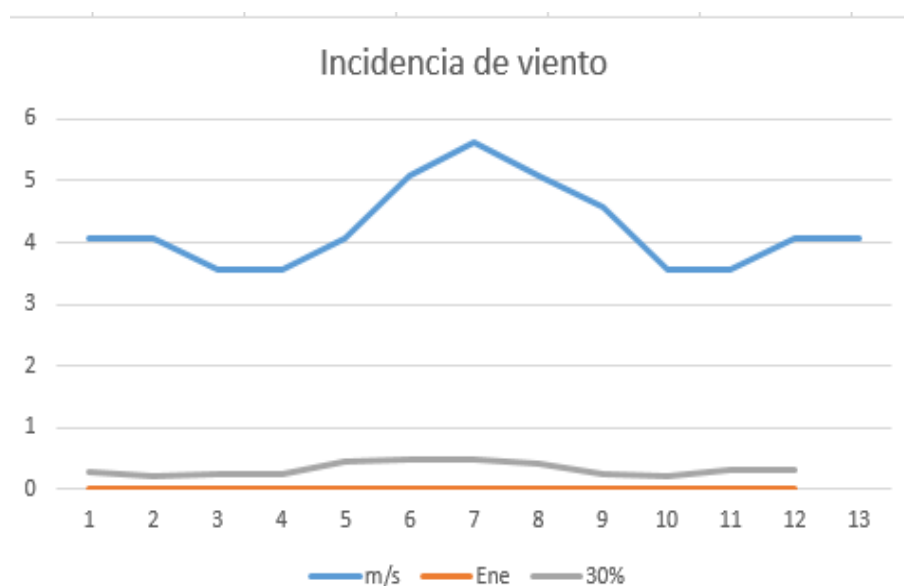


Figura 25. Incidencia de viento en Latacunga

Fuente: Estación meteorológica aeropuerto Cotopaxi

Con el progreso de la tecnología actualmente contamos con diversos tipos y modelos de turbinas eólicas de parte del principal proveedor de sistemas de generación alternativa en el Ecuador ProViento S.A., ofreciendo productos de calidad en marcas como ZONHAN y MARLEC.

Para nuestro proyecto contamos con el equipo EXMORK ZH500W que comprende las siguientes características:

Una turbina de uso doméstico con 500W de potencia de generación, carcasa de acero fundido, lo que le da una apariencia robusta y duradera. Las especificaciones técnicas se detallan a continuación.

Tabla 4.

Características técnicas de la turbina EXMORK ZH500W

Características técnicas de la turbina EXMORK ZH500W	
Diámetro del rotor (m)	2.5
Material y número de cuchillas	Fibra de vidrio reforzada *3
Potencia nominal / potencia máxima	500/700
Velocidad nominal del viento (m/s)	8
Velocidad de arranque del viento (m/s)	2.5
Velocidad del viento de trabajo (m/s)	3~25
Velocidad del viento sobrevivida (m/s)	45
Velocidad de rotación nominal (r/min)	450
Tensión de trabajo	CD12V/24V
Estilo generador	Trifásico, imán permanente
Método de carga	Tensión constante ahorro de corriente
Método de regulación de velocidad	Guiñada
Método de parada	Auto
Peso	46Kg

CONTINÚA 

Altura de la torre	66
Capacidad de batería sugerida	Batería de ciclo profundo 12V/200Ah *2
Toda la vida	15 años

Fuente: (Exmork, Manual de usuario, s.f.)

3.3. Aplicaciones de un sistema eólico domiciliario

La principal función de un sistema de generación eléctrica aislado de la red; es dotar de energía confiable indistintamente de su uso a las áreas más remotas y vulnerables o a su vez a sistemas que necesiten de energía constante en casos de emergencia por ausencia de la red de distribución convencional.

Este tipo de implementaciones las podemos encontrar en sistemas de bombeo, riego de cultivos y suministro de energía eléctrica en viviendas.

El sistema de generación eólica Exmork ZH500W se conecta a un banco de baterías que cumple la función de alimentar tanto al equipo inversor y a las cargas que deseamos alimentar de manera continua.

Las baterías ALPHACELL de ácido de plomo están especialmente diseñadas para soportar ciclos profundos de descarga y su funcionamiento es permanente ya que, el equipo de inversión de voltaje se encuentra trabajando de manera constante, aunque no exista energía de generación.

3.3.1. Rendimiento de la turbina eólica EXMORK ZH500W

De acuerdo a las condiciones especificadas por el fabricante, la turbina Exmork ZH500W tiene un comportamiento dependiendo de la velocidad de viento que accione a los álabes; siendo como velocidad mínima de generación 2.5m/s y un máximo de 11m/s. Bajo estas condiciones y por accionamiento automático del sistema de frenado el rendimiento de la turbina se ve reflejado en su diagrama de curva de rendimiento.

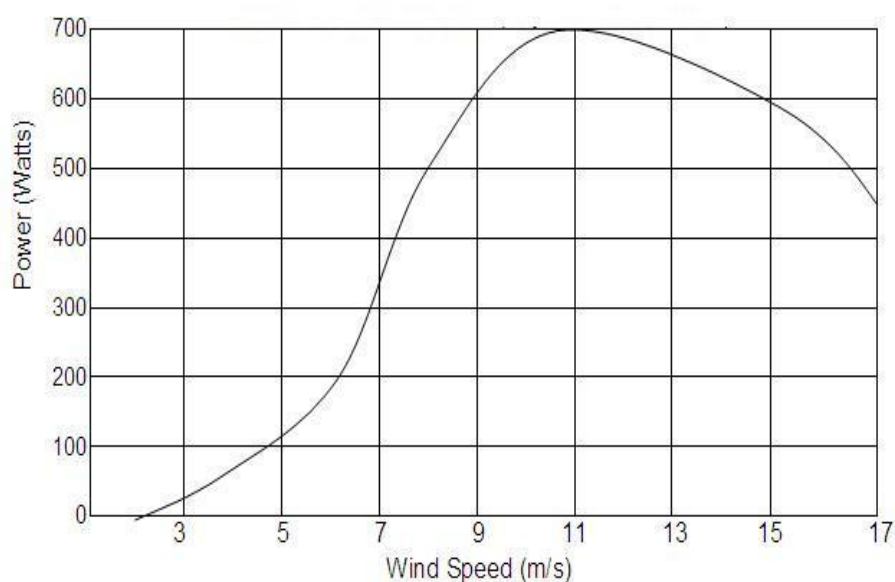


Figura 26. Curva de rendimiento de la turbina Exmork ZH500W

Fuente: (Exmork, Manual de usuario turbina Exmork 500W, s.f.)

“Al llegar a su velocidad máxima de funcionamiento 11m/s se acciona el sistema automático de frenado, bajando el rendimiento de la turbina con el fin de resguardar la integridad de todo el sistema mecánico”. (Exmork, Manual de usuario turbina Exmork 500W, s.f.)

Por razones de funcionamiento y la ubicación de la turbina se debe tomar en cuenta los mantenimientos respectivos que como normativa básica se los recomienda una vez al año.

Por su instalación a la intemperie el diseño de la turbina se adapta perfectamente a las inclemencias del clima sin que afecte su funcionamiento; sin embargo, se recomienda que en caso de un clima demasiado húmedo o con altas frecuencias de lluvias esporádicas; es necesario lubricación de los ejes móviles y una cobertura extra de pintura anticorrosiva para minimizar la aparición de óxido en la estructura.

3.3.2. Controlador de operación

El controlador de operación Exmork FKJ-A tiene un funcionamiento automático que resuelve posibles situaciones que se presenten mientras se encuentre en funcionamiento la turbina; además de ser el enlace entre la corriente alterna generada por la turbina y el banco de baterías, conmutando las señales de manera que el almacenamiento sea seguro.

Posee un conjunto de resistencias que servirá para descargar las baterías cuando el almacenamiento alcance un 125% y a su vez estas resistencias se desconectaran cuando el nivel retorne a un 108% de almacenamiento.



Figura 27. Controlador Exmork FKJ-A

Fuente: (Exmork, Manual de usuario turbina Exmork 500W, s.f.)

El controlador Exmork FKJ-A posee una modalidad de operación amigable y vistosa que permite al operador interpretar con facilidad cada estado en el que se encuentre el sistema de generación.

La principal señal que debemos observar es “Fuse Burn” que al encenderse sabremos que el fusible ha tenido un desperfecto o se ha quemado, inmediatamente tendremos que cambiarlo activando de manera emergente el freno mecánico, este accionador se encuentra en la parte posterior del equipo.

Esta acción nos va a permitir realizar cualquier operación sin correr ningún tipo de riesgo de descarga ya que no existirán corrientes de alimentación ingresando al sistema.

Una vez conectado todos los equipos la turbina Exmork ZH500W tendrá la capacidad de operar automáticamente a menos que exista un altercado con el fusible.

El proceso de instalación del controlador resulta bastante simple ya que dentro del manual de usuario se encuentra un diagrama de conexiones detallado y especifica cada acción.

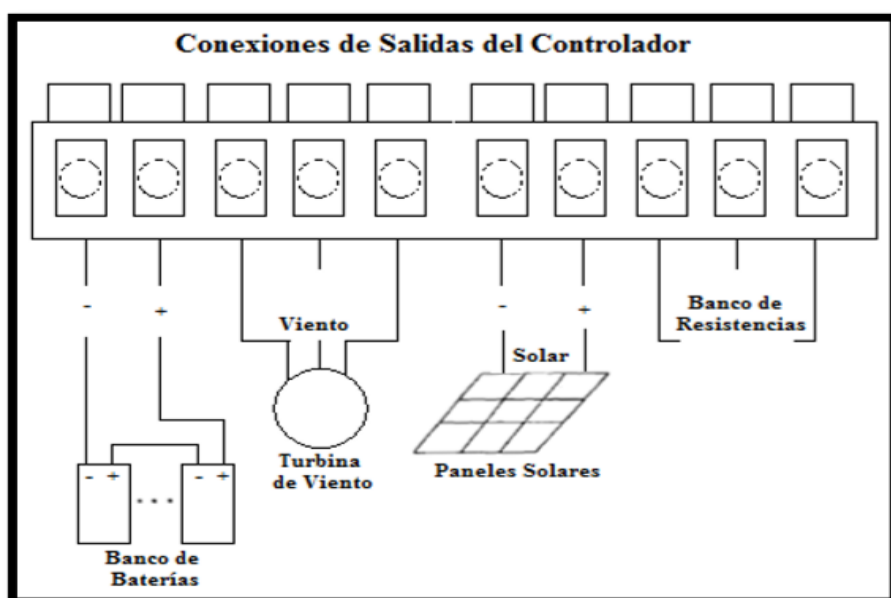


Figura 28. Diagrama de conexiones para el controlador Exmork FKJ-A

Fuente: Manual del controlador FKJ-A 1000VA

Para dar inicio a la instalación del sistema de generación eólica con los equipos Exmork se realizarán las siguientes acciones:

- Dos de las líneas principales que bajan de la turbina estarán circuitadas; lo que permitirá que el freno mecánico se active y permita que todas las acciones posteriores se realicen con total seguridad.
- Verifique el estado del fusible del controlador; en caso de no estar en buen estado cámbielo inmediatamente.
- Ponga atención en la conexión del banco de baterías que deberán coincidir los polos con lo marcado en el diagrama; caso contrario se encenderá el led de alerta por mala conexión. Este será el primer paso antes de conectar las líneas del generador trifásico ya que el controlador debe estar energizado para que sus operaciones se encuentren en funcionamiento.
- El banco de resistencias que es parte del controlador de carga Exmork FKJ-A se conectará de manera directa ya que su funcionamiento solo será requerido en caso de exceso de carga en el banco de baterías.
- Antes de conectar las líneas principales de la turbina al controlador se deberá accionar el freno mecánico y conectarlas una por una sin ningún orden específico.

Tabla 5.

Parámetros técnicos del controlador FKJ-A

<i>Parámetros técnicos del controlador FKJ-A</i>	
Aerogenerador (W)	500
Panel Solar (Wp)	100
Banco de baterías (V)	48
Método de Carga	Continua

CONTINÚA 

Temperatura de Trabajo	-10 a 40°C
Voltaje de descarga de la turbina	60 ±1
Voltaje de parada de la turbina	60 ±1
Voltaje de reinicio de carga de la turbina	54 ±1
Diámetro de cable para la conexión (mm ²)	≥2.5
Carga segura (A)	25

Fuente: Manual de usuario Turbina Exmork ZH500W

3.3.3. Inversor EXMORK de 1KVA



Figura 29. Inversor Exmork 1KVA

Fuente: (Proviento, s.f.)

Un inversor de voltaje es un dispositivo electrónico que permite cambiar las características de frecuencia de ondas de corriente directa a corriente alterna según las necesidades de la carga que se va alimentar.

El inversor Exmork de 1KVA cumple con esta característica de manera eficiente ya que además de esta función; posee un microcomputador que sirve para alertar al operador de posibles situaciones en los procesos de operaciones dando señales visuales presentes en el panel frontal.

“Este inversor posee una alta fiabilidad y un alto rendimiento, gracias a un microchip que controla las funciones operativas como: frecuencia, voltaje, descarga de baterías. Además, este equipo posee una operación estable y opera sin ruido ni contaminación.”
(Proviento, s.f.)

Además de ser un inversor tiene la opción de ser un cargador de energía; en casos extremos donde no haya presencia de ráfagas de viento y la turbina eólica no tenga la suficiente energía cinética para generar electricidad. Tenemos la opción de conectar el inversor Exmork a la red pública y mantener siempre cargado nuestro banco de baterías para entrar en operación en cualquier eventualidad.

La principal característica de la fiabilidad de este equipo es que está diseñado para ofrecernos una onda sinusoidal pura, lo que significa que nos da los mismos servicios que la onda sinusoidal producida por la red de servicio público; podremos conectar cualquier tipo de aparato electrónico a nuestra fuente de manera aislada y obtener el mismo rendimiento del aparato o electrodoméstico.

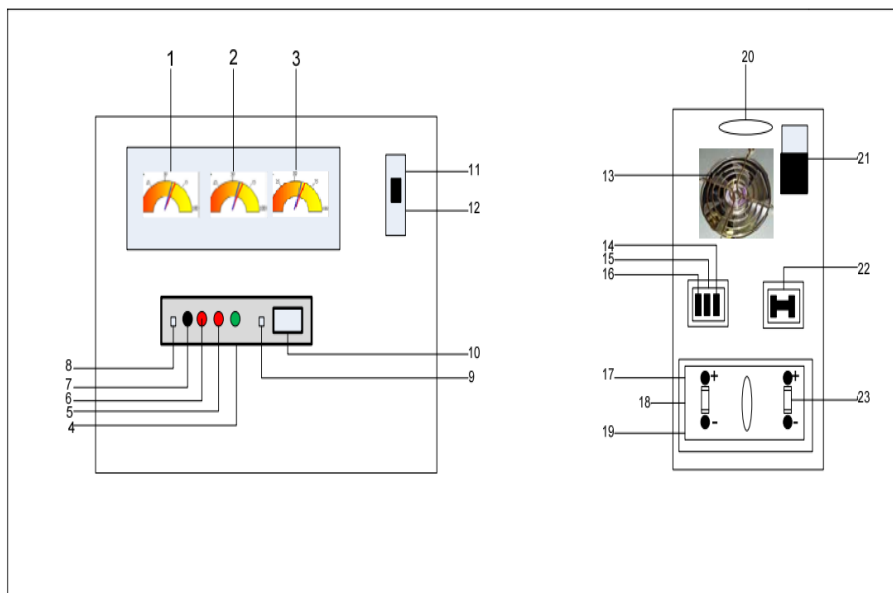


Figura 30. Partes externas del inversor Exmark de 1KVA


Fuente: (Provierto, s.f.)

Tabla 6.

Partes del inversor 1000KVA

Descripción de las partes externas del inversor		
<i>Partes externas del Inversor</i>	<i>Descripción</i>	
1	Voltímetro de salida	Indica el valor de la tensión de salida del inversor (AC)
2	Voltímetro de baterías	Indica el valor de la tensión de entrada del inversor (DC)
3	Carga/Descarga de corriente	Indica la carga y la demanda de la corriente (DC)
4	LED = Rojo	Para el proceso de carga
	LED = Verde	Indica el proceso de carga
5	LED = Rojo	Indica que las baterías están cargadas
	LED = Verde	Indica que las baterías están descargadas
6	LED = Rojo	Indica que la temperatura del inversor es muy alta

CONTINÚA 

	LED = Verde 	Indica que el inversor esta con sobrecarga
7	Inversor-Mode	Indica que el equipo está funcionando en modo inversor
8	Power On/Off	Prende y apaga el inversor
9	Regulador de corriente de recarga	Controla la corriente de recarga cuando esté conectado a la red eléctrica. (Modificar con el equipo apagado)
10	Remote port	Puerta de control externo
11	Switch carga	En esta posición se puede ver a cara de corriente
12	Switch descarga	En esta posición se puede ver el consumo de corriente
13	Ventilador	Mantiene una temperatura adecuada al equipo
14	Input on/Off	Activa/Apaga la entrada
15	Output	Activa/Apaga La salida
16	Bypass	Impide que la entrada ingrese a través del inversor
17	Terminales de entrada	Para conexión de entrada
18	Terminales de tierra	Para conexión a tierra
19	Terminales de salida	Para conexión de salida
20	Manilla	Para transportar el equipo
21	Interruptor On/Off	Activa/desactiva el inversor
22	Interruptor DC On/Off	Activa/desactiva la entrada de DC
23	Entrada de DC	Terminales de entrada de DC

Fuente: (Provierto, s.f.)

3.4 . Conmutador de transferencia

“Son dispositivos que cambian de una fuente de alimentación a otra. Son esenciales en los generadores eléctricos y grupos electrógenos, ya que mediante este sistema, pasan de una toma de energía a otra en el momento en que la fuente de energía principal falla.” (Electrogeno, s.f.)

Este implemento es fundamental para proporcionar seguridad en el cambio de fuente de energía; esta encargado de evitar que las corrientes de distinto provenir se topen entre si y los equipos conectados puedan seguir en funcionamiento con normalidad. En la actualidad muchas empresas han optado por tener dos diferentes tipos de suministros de energías a más de la provista por la red local para no comprometer su producción; se ayudan con generadores eléctricos a base de combustible fósil, fotovoltaico o eólico. En estos casos entran en acción los llamados inte

rruptores de transferencia.



Figura 31. Conmutador de transferencia

Fuente: Catálogo Oslavamark

3.4.1. Tipos de conmutador de energía

Para este tipo de dispositivos existen dos tipos; el de modo automático y manual.

Como sus nombres especifican sus diferencias radican principalmente en su modo de operación, mientras que el automático opera de manera independiente en función de la estabilidad del suministro de energía cambiando en cuestión de segundos de una posición a otra para garantizar el flujo continuo de energía, el conmutador de transferencia manual requiere de la intervención de un operador que este pendiente de los cambios que se puedan efectuar en la fuente de energía principal para accionar el surtido alterno.

3.4.2. Ventajas de utilizar conmutadores de transferencia

Desde que surgió la producción industrial se detectó que su único impedimento para sus funciones es la interrupción del flujo eléctrico.

Aunque actualmente en el Ecuador ya contamos con un sistema de transmisión eléctrica muy eficiente, no se puede confiar enteramente en su funcionamiento; ya con precedentes de interrupciones por accidentes dentro de las plantas generadoras. Cada empresa optó por la adquisición de generadores eléctricos propios a base de combustibles fósiles de manera que el funcionamiento de cada máquina no se interrumpa y la producción no se vea afectada.

Los paneles de transferencia y los conmutadores se diseñaron específicamente para que esta tarea no signifique ningún peligro para los equipos conectados tanto para la zona industrial como para la doméstica.

- Al ser automáticos nos da la libertad de dejarlo trabajar sin ningún tipo de supervisión humana a más de la que se necesitó en su instalación.
- Eliminan el caos que se puede presentar si existe un fallo de energía dejando al operador libre de cualquier responsabilidad.
- Como cualquier aparato electrónico necesita una revisión y mantenimiento programado, el recomendado por el proveedor es de uno por año de uso.
- Para facilitar su desempeño, en el manual de usuario se especifica que tiene un tiempo de vida mínimo de 8000 usos. Lo que representan muchos años de vida útil.

3.4.3. Conmutador Rohs FC CE

Este dispositivo ATS (Automatic Transfer Switch) es un dispositivo electrónico automático que nos permite el cambio rápido y seguro del suministro de energía, este proceso transcurre según el seteo del estado de las baterías; cuando éstas se encuentran por debajo del 50% de su capacidad de funcionamiento se enciende un indicador lumínico que señala que la fuente de energía que se está utilizando pertenece a la red pública.

Este dispositivo está diseñado especialmente para sistemas de generación eléctrica eólica y fotovoltaico con operatividad a 24V, para garantizar que la conmutación de energía sea efectiva está configurado para que el cambio de posición de los contactos se realice en 10ms, un tiempo relativamente instantáneo.

Por esta razón se seleccionó como parte del sistema de distribución eléctrica al switch automático de transferencia, ya que cumple con las condiciones de cambio de energía

apropiado; de energía eólica a la red pública solventando posibles fallos de suministro y la alimentación a las cargas permanezca constante.

La presentación de su panel frontal es bastante específico y posee señalética fácil de interpretar, además dentro del paquete está incluido el manual de usuario que nos permite instalarlo de manera fácil sin necesidad de un técnico especializado.

Al implementar este dispositivo se nos permitió optimizar el funcionamiento de la turbina eólica, ya que en pruebas anteriores la carga conectada permanentemente seguía consumiendo energía; lo que hacía que las baterías demoren su recarga, ahora ya en funcionamiento el switch de transferencia automática Rohs FC EC el voltaje generado va directamente a recargarlas resguardando la integridad del banco de baterías.



Figura 32. Switch de transferencia automática (ATS) Rohs FC EC

Fuente: Catálogo Aliexpress

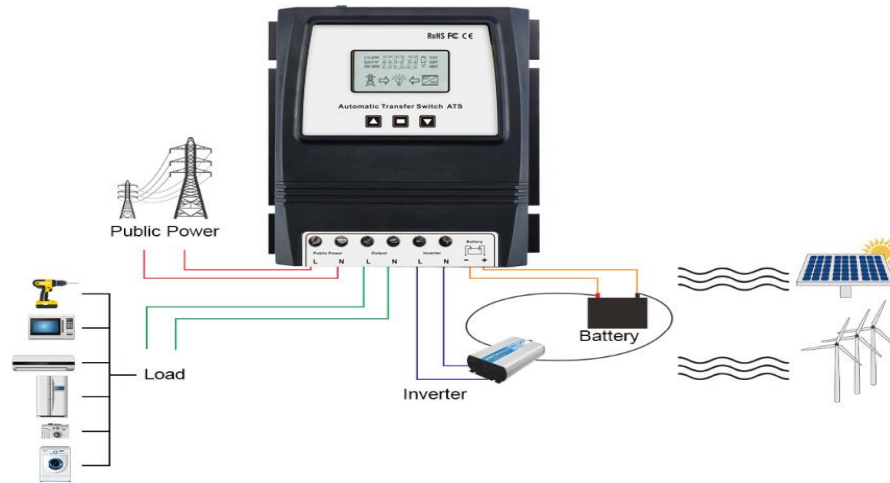


Figura 33. Esquema de conexión de conmutador

Fuente: Manual de usuario ATS RoHS FC EC

Tabla 7.

Especificaciones técnicas del conmutador RoHS FC EC

Especificaciones técnicas	
Model	NV-Q4500W
Rated Power	4500W
Input Voltage	AC110V / AC220-240V
Output Voltage	AC110V or AC220V-240V
Transfer Time	≤10ms
Led Indicator	Working status of public power, inverted and battery
System voltaje	12V or 24V or 48V
BAT. Low cut-down	10.5V/21V/42V
BAT. Low Recovery	13.5V/27V/54V

CONTINÚA 

Application	Off-grid solar or Wind System
Product size	16.5*13.5*6.5cm

Fuente: Manual de usuario

3.5. Banco de baterías

Los sistemas de almacenamiento de energía comúnmente llamados baterías son elementos fundamentales para nuestro objetivo de dar autonomía a un sistema eléctrico definido.

Debemos conocer qué tipo de baterías necesitaremos para un óptimo desempeño de nuestras cargas eléctricas, de manera que en el tiempo que se requiera su perpetua operación no fallen.

Existen dos tipos de baterías según su utilización; baterías de ciclo corto y baterías de ciclo profundo.

La principal diferencia entre estos dos tipos de batería está centrada en su tiempo de uso. Las baterías de ciclo corto las podemos encontrar en automotores y su función es la de dar la energía necesaria para que el vehículo inicie sus actividades. Para este fin se utiliza más de su capacidad energética en cortos lapsos de tiempo; precisamente por la alta cantidad de corriente necesaria para el arranque. Ya después de conseguido su objetivo la batería descansa y su función es reemplazada por el alternador; mismo que se encarga de dar la energía a todo el sistema eléctrico del automóvil y a su vez recarga la batería para un nuevo arranque.

Las baterías de ciclo profundo miden su rendimiento en función del tiempo que darán energía a la carga que lo requiera; razón por la que se toma en cuenta que la demanda energética de la carga sea mucho menor a la capacidad de la batería; de esta manera las baterías de ciclo profundo se miden en amperios-hora (Ah). Lo que significa que una batería de 100Ah podría dar operatividad a una carga que demande 5A de energía por veinte horas continuas antes de llegar al fallo.

3.5.1. Batería AlphaCell 4.0 HP de 100Ah



Figura 34. Batería AlphaCell 4.0 HP

Fuente: Catálogo AlphaCell

Las baterías AlphaCell de ciclo profundo están diseñadas con tecnología AMG (estera de vidrio absorbido; en español); consiste en filamentos de fibra de vidrio actuando a

manera de esponja al contacto con el electrolito líquido que brinda una mejor y más rápida absorción del ácido en las placas de plomo.

De esta manera este equipo será sellado para funcionar sin necesidad de mantenimientos posteriores y trabajará de manera correcta todo su tiempo de vida.

Esta batería tiene una capacidad de 100 Ah a 12v; distribuidas en celdas de 2V cada una. Su funcionamiento a diferencia de otras marcas y tipos de baterías reacciona según la necesidad de la carga, activando las distintas celdas para satisfacer el funcionamiento del elemento electrónico en operación. Así garantiza que la batería se descargara paulatinamente según su uso y en un mayor tiempo.

El fabricante facilita una hoja de datos de rendimiento de la batería en diferentes escenarios y además una garantía del producto que nos da mayor confianza en el equipo.

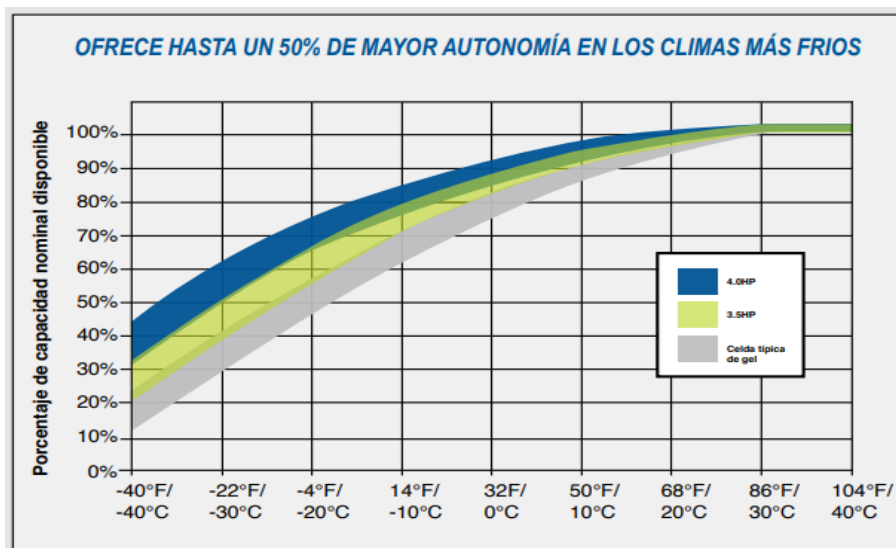


Figura 35. Curva de rendimiento de batería según el clima

Fuente: Datasheet Alphacell 4.0 HP

Tomando en cuenta el clima de la ciudad de Latacunga vemos en este banco de baterías la mejor opción para las operaciones de nuestro equipo de generación eólica.

Se realizó la selección del banco de baterías compuesto por dos dispositivos AlphaCell 4.0 HP de 100 Ah cada una, sumando una capacidad que nos brinda autonomía para cuatro días aproximadamente para las cargas iniciales del equipo de radios repetidoras, y un rendimiento de un día si le adicionamos el consumo del computador al total de cargas.

3.5.2. Conexión del banco de baterías

Por necesidades estrictamente de los equipos Exmork instalados se requiere que las baterías alcancen un voltaje de 24V en CD de manera que se pueda accionar el inversor de voltaje y el controlador de carga respectivamente. De manera que los dispositivos de almacenamiento de 12V cada una se conectará en serie para sumar sus voltajes y mantener los 100Ah de energía para el consumo del equipo inversor y las cargas que se alimenten posteriormente en el periodo de pruebas.

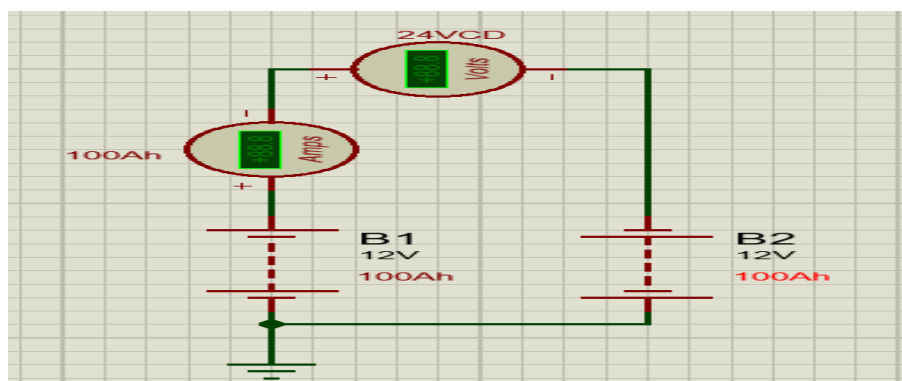


Figura 36. Circuito de conexión de baterías

Fuente: Proteus 8

3.6. Instalación de la turbina EXMORK ZH500W

La turbina se instaló en la parte posterior de la garita de vigilancia en el acceso principal de la Universidad de FF. AA. Campus Guillermo Rodríguez Lara; a una altura aproximada de 12m sobre el nivel del suelo. Se utilizó un poste de hormigón armado plantado 1.5 m bajo el suelo como normativa de seguridad.

Por cuestiones logísticas se alcanzó la altura deseada con una estructura de andamios metálicos para posteriormente elevar la turbina.

A su vez se realiza la conexión de los cables de poder desde el poste hasta el ingreso a la prevención, utilizando una instalación soterrada recubierta por manguera plástica de $\frac{3}{4}$ de pulgada, finalizando las conexiones vía canaleta de 2X15mm hasta los equipos de control.

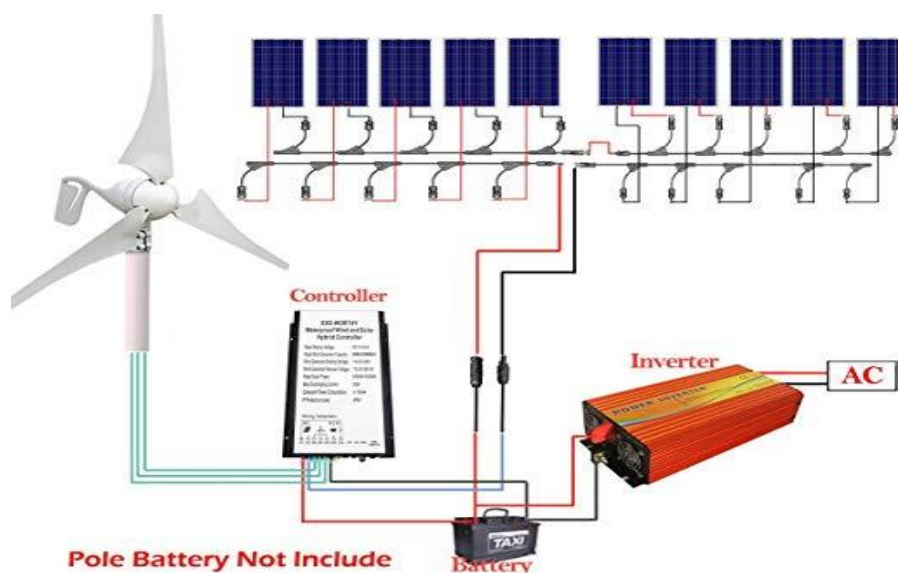


Figura 37. Conexión de un sistema de generación híbrido

Fuente: Eco- Worthy

3.6.1. Designación de los conductores necesarios para la instalación del sistema eólico

Para la designación del cable que conectará a cada componente del sistema de generación eólico; partiremos de la premisa que la turbina trabajará a la máxima velocidad permitida antes de que el freno automático se active y bajen las revoluciones del rotor. Para este estudio tomaremos el valor de 10m/S.

$$m = \rho * (A * v * t) \text{ Ecu. 1}$$

Dónde: m = Masa del aire

ρ = Densidad del aire

A = Área de barrido del rotor

v = Velocidad del aire

t = tiempo

$$Ec = \frac{1}{2} m * v^2 \text{ Ecu. 2}$$

Ecuación 2. en 1.

$$Ec = \frac{1}{2} \rho * A * t * v^3$$

$$Ec = \frac{1}{2} 1,225kg/m^3 * 4,90m^2 * 1s * (10m/s)^3$$

$$Ec = 3001,25 \text{ J}$$

Por lo tanto:

$$P = I * V \quad \text{Ecu. 3}$$

Dónde: P = Potencia

I = Intensidad

V = Voltaje

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{3001,25W}{110V}$$

$$I = 27,28 A$$



Amperaje que soporta los cables de cobre

Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de Aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	AMPERAJE SOPORTADO			Medida / Calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A	18 AWG	10 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A	16 AWG	13A
8 AWG	40 A	40 A	40 A	14 AWG	18 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A	12 AWG	25 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

www.electrodelahozsas.com

Figura 38. Datasheet de cables AWG

Fuente: Electro de la hoz

De acuerdo con este cálculo es necesario un cable que soporte un mínimo de 27A de corriente de trabajo.

Por los datos propinados por la **Figura 37**, se seleccionó el cable 10AWG que soporta una corriente de 30A; lo suficiente para que nuestro proyecto inicie sus actividades sin riesgos.

3.6.2. Cálculo de conductores para bornes de batería

Este criterio depende directamente de la capacidad de las baterías y la corriente que demande la carga conectada, el conductor que requiere la conexión debe soportar los picos de corriente producido por el arranque de motores, además se selecciona cable flexible se facilita la manipulación de los equipos a conectar.

Tamaño de los cables (AWG)	Capacidad (Amperios)
14	25
12	30
10	40
8	55
6	75
4	95
2	130
1	150
1/0	170
2/0	265
4/0	360

Figura 39. Tamaños de cables para la conexión con los bornes.

Fuente: (Ingemecanica, s.f.)

Por el estudio de carga el sistema completo está diseñado para trabajar con una demanda de energía de 1,27A y alcance el tiempo de autonomía estimado. Pero ya para un caso de emergencia la conexión de otros aparatos no estimados puede ser un problema para el dimensionamiento del conductor.

El propósito de la generación energética es mejorar la calidad de vida de las personas que se sitúan en puntos aislados de la red pública, y proveer la energía suficiente para el accionamiento de aparatos eléctricos que estén dentro del rango de capacidad de las baterías.

Tabla 8.

Estudio de carga que puede manejar el banco de baterías.

Tipo De Carga	CONSUMO
Iluminación	500W
Licuada	350W
Refrigerador	575W
Televisor	150W
Computador	150W
Batidora	140W
Ventilador	100W
TOTAL	1965W

$$P = I * V \quad \text{Ecu. 3}$$

Dónde: P = Potencia

I = Intensidad

V = Voltaje

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{1965W}{110V}$$

$$I = 17,86 A$$

La capacidad del banco de baterías es de 100Ah por ende podía alimentar a una carga superior a la prevista. Motivo por el que se decidió dejar previsto una conexión con cable flexible 10AWG que logre dar funcionamiento a equipos de hasta 40 A (ver **Figura 38**); de manera que no afecte a ningún elemento del sistema de generación.

3.6.3. Cálculo de conductores para CA del ATS hasta las cargas

Para facilitar la operación de los equipos de generación y el respectivo consumo de energía por parte de la carga, se optó por implementar un switch de transferencia automática que permita mantener el suministro energético en todo momento; de manera que, aunque las baterías agoten sus reservas de energía se pueda contar con la red pública para que la carga continúe sus actividades en forma permanente.

$$P = I * V \text{ Ecu. 3}$$

Dónde: P = Potencia

I = Intensidad

V = Voltaje

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{438W}{110V}$$

$$I = 3,98 A$$

Manteniendo el consumo de energía inicial y tomando las recomendaciones detalladas en la **Figura 37**. Seleccionaremos cable gemelo 2X16 que nos brinda facilidad de manipulación, resistencia al consumo por parte de la carga.



Figura 40. Instalación de turbina Exmork 500W



Figura 41. Cableado del generador hasta los equipos de control



Figura 42. Verificación de paso de corriente



Figura 43. Instalación de Switch de transferencia automática (ATS)



Figura 44. Comprobación de voltajes en las entradas y salidas

3.7. Ensayos de funcionamiento

Ya instalada la turbina y conectados todos los equipos se procedió hacer la primera prueba de ensayo que consistió en la conexión de pequeñas cargas al inversor para verificar su funcionamiento.

Los aparatos conectados fueron un cargador de celular, una radio, una lámpara incandescente y una cafetera eléctrica de manera individual.

Tabla 9.

Prueba inicial de funcionamiento del inversor 1000KVA

Carga conectada	Resultado
Cargador de celular 35W	Funcionamiento S/N
Radio 85W	Funcionamiento S/N
Lámpara 60W	Funcionamiento S/N
Cafetera eléctrica 1500W	Funcionamiento S/N

Al tratarse de un inversor de onda pura los resultados de funcionamiento fueron satisfactorios y los aparatos conectados operaron sin problemas, inclusive la cafetera eléctrica que por su constitución presenta un alto consumo de energía.

Para la prueba inicial ocupamos la salida de voltaje propia del inversor y así comprobar que su funcionamiento se mantenga normal.

Se dió principal énfasis al comportamiento de la turbina en condiciones propias del sector; se mostraron ráfagas esporádicas en el día y con mayor frecuencia en horas de

la noche. En todas estas circunstancias el freno automático que se activa al superar los 11m/s de velocidad de viento funcionó correctamente.

Conectados todos los componentes de generación de la turbina Exmork Zh500W se la puso a funcionar un mes desde 01 de julio hasta el 01 de agosto del 2019 sin carga, dando resultados favorables en cuestión de descarga automática; el inversor censaba el estado de las baterías y al detectar un excedente de energía activaba las resistencias permitiendo un ciclo de carga y descarga eficiente. Los vientos circundantes proporcionaron al sistema pulsos de hasta 6A de carga para la batería; tomando en cuenta que el sistema está diseñado para un consumo de carga de 1,25A resultó exitoso el dimensionamiento del sistema.

El consumo de energía del inversor en standby no se pudo determinar y este dato para nuestro proyecto fue obviado; por sus constituciones de fábrica resulto relativamente bajo. Dando como resultado una señal lumínica de parte del panel frontal a los 6 días aproximadamente. Esto tomando en cuenta que no hubo afluencia de viento considerable.

A partir del 02 de agosto hasta el 02 de septiembre del 2019 se conectó las cargas establecidas para este estudio; detalladas en la **Tabla 2**.

Los cálculos de autonomía en los equipos dependientes directamente del banco de baterías que se estimaban, dieron un resultado de 4 días con 5 horas aproximadamente de funcionamiento óptimo hasta llegar al fallo. Para dicha prueba se activó el accionador

del freno manual situado detrás del controlador de carga, de esta manera bloquear el rotor de la turbina e impedir la generación de energía.

Para evaluar el funcionamiento de las baterías se optó por descargarlas completamente y verificar el tiempo necesario para que se recarguen, utilizando un cargador de tipo comercial dando un tiempo estimado de 3 horas para su carga total. Cabe recalcar que para acelerar el proceso de descarga se conectó una cafetera eléctrica con un consumo de 1500W de consumo.

Tabla 10.

Prueba de rendimiento de banco de baterías.

Prueba de funcionamiento	Tiempo de descarga	Tiempo de carga
Funcionamiento con carga	4 días	32 h
Funcionamiento sin carga	6 días	21 h
Descarga total	7 h	3h

Teniendo en cuenta las nuevas tecnologías se quiso optimizar el tiempo de operación y hacerlo más fácil, hasta para un operador sin experiencia. En un inicio se trabajó únicamente con la salida de voltaje del inversor para alimentar las cargas seleccionadas; posteriormente se instaló un dispositivo de transferencia automática que cumplió la función de conmutador de energía para el cambio de suministro energético. De esta manera las cargas se mantuvieron constantemente alimentadas y se pudo trabajar conjuntamente con la red eléctrica pública.

Además, con el dispositivo conmutación automática ya en funcionamiento se constató que el proceso de carga de las baterías redujo su tiempo. La razón fue porque ya no existían cargas dependientes del inversor y la energía generada por la turbina era destinada netamente para el banco de baterías hasta que estas lleguen a su punto de operación óptimo y nuevamente el conmutador se active.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Gracias al estudio de viento facilitado por los datos obtenidos de la estación meteorología ubicada en el campus Belisario Quevedo, se pudo verificar que existe recurso eólico para accionar la turbina Exmork ZH500W que por sus características de funcionamiento empezó a generar carga eléctrica a los 2.5m/s, abasteciendo al sistema de comunicación del personal de seguridad acantonado en el ingreso principal al campus.
- Se determinó que el tiempo de descarga del banco de energía fue de aproximadamente 4 días, con una carga inicial de 138W correspondientes al equipo de radios repetidoras y de 1 día adicionando 300W propiciado por el computador de escritorio. Para los dos casos el tiempo de recarga fue de 32 horas aproximadamente.
- Se Implementó un dispositivo de transferencia de energía, logrando una operación más eficiente de todas las cargas conectadas; ya que a pesar de que las baterías estén descargadas los equipos seguían en funcionamiento alimentados por la red pública gracias a que el switch de transferencia realizaba el cambio de suministro energético en un tiempo de 10ms.
- A pesar que el Ecuador se encuentra ubicado en una zona andina y poseer un buen recurso eólico; no se ha tenido la suficiente inversión para hacer de este bien natural una fuente permanente de energía.
- Ya tenemos varios ejemplos de parques eólicos en el archipiélago de Galápagos y la provincia de Loja que han demostrado su eficiencia energética, convirtiéndolos en un

referente para nuevos estudios de viento y posibles nuevas plantas generadoras de la misma índole.

- Con la implementación de este tipo de proyectos despierta una curiosidad en la población en general; que mayoritariamente desconoce su existencia y funcionamiento. De manera que en necesidad de una fuente alternativa de energía podrían inclinarse por la implementación de turbinas eólicas domésticas que actualmente son mucho más eficientes y sus costos por adquisición son relativamente más económicos.
- La instalación de un sistema eólico resulta muy sencilla ya que los manuales de usuario son detallados y de fácil entendimiento; además no requieren de herramientas sofisticadas para su ensamblaje.
- Los sistemas de generación eólica domésticos según el principal proveedor en Ecuador ProViento S.A. bordean un costo de 1000.00 dólares para el equipo más básico de 600W; valor que puede ser una buena inversión a largo plazo, pero que resulta un tanto innecesario porque el valor del kilovatio hora en nuestro país es subsidiado.
- Los voltajes que proporciona la turbina eólica resultan confiables, pero no constantes por el mismo hecho que las ráfagas de viento no son permanentes. Además, que el sistema de freno automático baja el rendimiento de la turbina cuando el viento supera el límite de velocidad permisible.
- Si lo que se desea es un flujo constante de viento se lo puede conseguir de manera más eficiente en las cercanías a las vías de transporte perimetrales, la circulación de vehículos en altas velocidades facilita la adquisición de ráfagas permanentes en la mayor parte del día.

- Para localidades de consumo aisladas de la red pública especialmente situadas en zonas montañosas, el recurso eólico es la forma más factible de generación energética; ya que las corrientes de aire son más frecuentes en contraparte con los sistemas fotovoltaicos que necesitan de un cielo despejado para su óptimo desempeño.
- La aplicación de un anemómetro para el estudio de viento facilita mucho la justificación de la implementación de una turbina eólica, tomando en cuenta que el costo de los equipos representa un gasto fuerte no se puede pasar por alto este dato.
- Para la zona industrial aún no se dispone de los incentivos necesarios que justifiquen la inversión en equipos de generación limpia, por consiguiente, el uso de generadores a base de combustibles fósiles aun representa más rentable que otras fuentes de energía.
- Los dispositivos electrónicos de seguridad en la transferencia energía nos permiten manipular distintas fuentes de energía sin poner en riesgo las cargas conectadas y los mismos suministros.

4.2. Recomendaciones

- Para un proyecto eólico se debe tomar en cuenta un estudio previo de afluencia de viento de mínimo 6 meses; ya que los costos de inversión son elevados y deben ser justificados.
- Es primordial un estudio de carga que se quiere satisfacer, a partir de este dato se puede seleccionar el equipo de generación que se adapte mejor a nuestras necesidades y también el banco de baterías que abastecerá a los aparatos a conectarse al inversor.

- Si no se tiene experiencia con estos equipos es necesario la presencia de un profesional que asegure la correcta instalación de cada instrumento, de esto depende la funcionalidad y seguridad de todo el sistema.
- Verifique que los polos de las baterías estén correctamente conectados antes de iniciar el proceso de generación; al ser los elementos más sensibles están propensos a cortocircuitos internos que ocasionarían daños permanentes.
- Para un óptimo desempeño de fuentes energéticas alternativas se pueden instalar equipos híbridos; este tipo de instrumentos tienen la posibilidad de controlar energía tanto del recurso eólico y fotovoltaico. De manera que la generación sería constante.
- Para adoptar un sistema de generación eólica como fuente de energía alterna se debe tomar en cuenta la situación geográfica donde se ubicará la torre ya que en la ciudad el exceso de edificaciones obstruye el libre flujo de viento.
- Tomar en cuenta las especificaciones de los equipos para su importación, deben ser compatibles con la frecuencia con la que funciona la red eléctrica pública y por consiguiente las cargas a energizar.
- El mantenimiento periódico de los ejes móviles de la turbina es primordial, especialmente la lubricación y sellado ya que estarán expuestos a cielo abierto con repentinos cambios de clima.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

123RF. (s.f.). *Parque eólico*. Recuperado el 11 de septiembre de 2019, de https://es.123rf.com/photo_52179546_parque-e%C3%B3lico-en-el-desierto-de-mojave-california.html

Acciona. (s.f.). Recuperado el 18 de junio de 2019, de Business As Unusual: <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/>

Celec Ep. (s.f.). Recuperado el 26 de junio de 2019, de <https://www.celec.gob.ec/gensur/index.php/84-central-eolica-villonaco-la-de-mayor-produccion-por-turbina-en-el-mundo>

CELEC EP. (21 de 05 de 2016). Recuperado el 15 de marzo de 2019, de Eólico: <https://www.celec.gob.ec/termopichincha/index.php/retos-empresariales/proyectos-de-generacion-no-convencional/eolico>

Diario Ecología. (06 de 06 de 2019). Recuperado el 06 de junio de 2019, de Que es la energía eólica: <http://diarioecologia.com/que-es-la-energia-eolica-y-como-funciona/>

Eart, G. (s.f.). *Mapas*. Recuperado el 05 de diciembre de 2019, de <https://mapasamerica.dices.net/ecuador/mapa.php?nombre=Belisario-Quevedo&id=6483>

Ekidom. (s.f.). Recuperado el 24 de junio de 2019, de Historia de la Energía Eólica: <http://www.ekidom.com/historia-de-la-energia-eolica>

El Telégrafo. (s.f.). Recuperado el 18 de junio de 2019, de Economía: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/arconel-uso-energia-solar-ecuador>

ELECGALAPAGOS. (s.f.). Recuperado el 15 de julio de 2019, de Proyectos:
<http://www.elecgapagos.com.ec/proyectos>

Electrogeno, G. (s.f.). *Conmutador de Transferencia*. Recuperado el 02 de enero de 2020, de
<http://grupoelectrogeno.net/que-es-conmutador-de-transferencia/>

Exmork. (s.f.). *Manual de usuario*. Recuperado el 10 de diciembre de 2019, de
<http://www.exmork.com:80/wind-turbine-controller-a1.htm>

Exmork. (s.f.). *Manual de usuario turbina Exmork 500W*. Recuperado el 15 de Octubre de 2019, de <http://>
<http://www.exmork.com/500w-wind-turbine.htm>

Factorenergia. (s.f.). Recuperado el 02 de junio de 2019, de
<https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/>

Factorenergia. (s.f.). Recuperado el 02 de junio de 2019, de
<https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/que-son-energias-alternativas/>

Harper, G. E. (2012). El ABC de la energías renovables en los sistemas eléctricos. En G. E. Harper, *El ABC de la energías renovables en los sistemas eléctricos* (pág. 322). Mexico: LIMUSA.

Historiae. (s.f.). *Historia del antiguo Egipto*. Recuperado el 10 de Octubre de 2019, de
<https://www.historiaeweb.com/2015/10/09/las-embarcaciones-en-el-antiguo-egipto/>

Ingemecanica. (s.f.). Recuperado el 20 de diciembre de 2019, de
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn70.html>

Mareas, E. d. (s.f.). *Audiolibros*. Recuperado el 12 de octubre de 2019, de
<http://www.audiolibrogratis.com/2011/08/podcast-la-energia-de-las-mareas.html>

Mercados Eléctricos - IEE3372. (s.f.). Recuperado el 02 de junio de 2019, de http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno12/costosernc/D._Mare.html

personales, A. (s.f.). Calculo de capacidad de bateria.

Proviento. (s.f.). *Proviento.* Recuperado el 13 de octubre de 2019, de <https://www.proviento.com.ec/Manual-2k.pdf>

Renovables Verdes. (s.f.). Recuperado el 24 de junio de 2019, de Towards 2000: <https://www.renovablesverdes.com/towards-2000-el-que-fue-el-primer-parque-eolico-del-mundo/>

Reve. (s.f.). Recuperado el 15 de agosto de 2019, de La energia eólica en Ecuador: <https://www.evwind.com/2010/08/11/la-energia-eolica-en-ecuador/>

SotySolar. (s.f.). Recuperado el 02 de junio de 2019, de <https://sotysolar.es/blog/que-es-la-energia-verde>

Structuralia. (s.f.). Recuperado el 20 de junio de 2019, de Blog Structuralia: <https://blog.structuralia.com/la-planta-de-energia-mareomotriz-rance-tidal>

Taller Virtual de Meteorología y Clima. (s.f.). Recuperado el 04 de junio de 2019, de El Viento: <http://meteolab.fis.ucm.es/meteorologia/viento>

Textos Científicos.com. (s.f.). Recuperado el 15 de julio de 2019, de Turbinas Eólicas: <https://www.textoscientificos.com/energia/turbinas>

Thales. (s.f.). *Recursos Eólicos.* Recuperado el 01 de noviembre de 2019, de <https://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/capitulo4af.html>

Vix. (s.f.). Recuperado el 02 de junio de 2019, de Explora:

<https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/2010/12/05/como-se-produce-el-viento>

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMACÁNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que la presente monografía fue desarrollada por el señor YANCHALIQUEÍN PAJUÑA MARCO
FERNANDO

En la ciudad de Latacunga a los 06 días del mes de febrero del 2020

Aprobado por:

